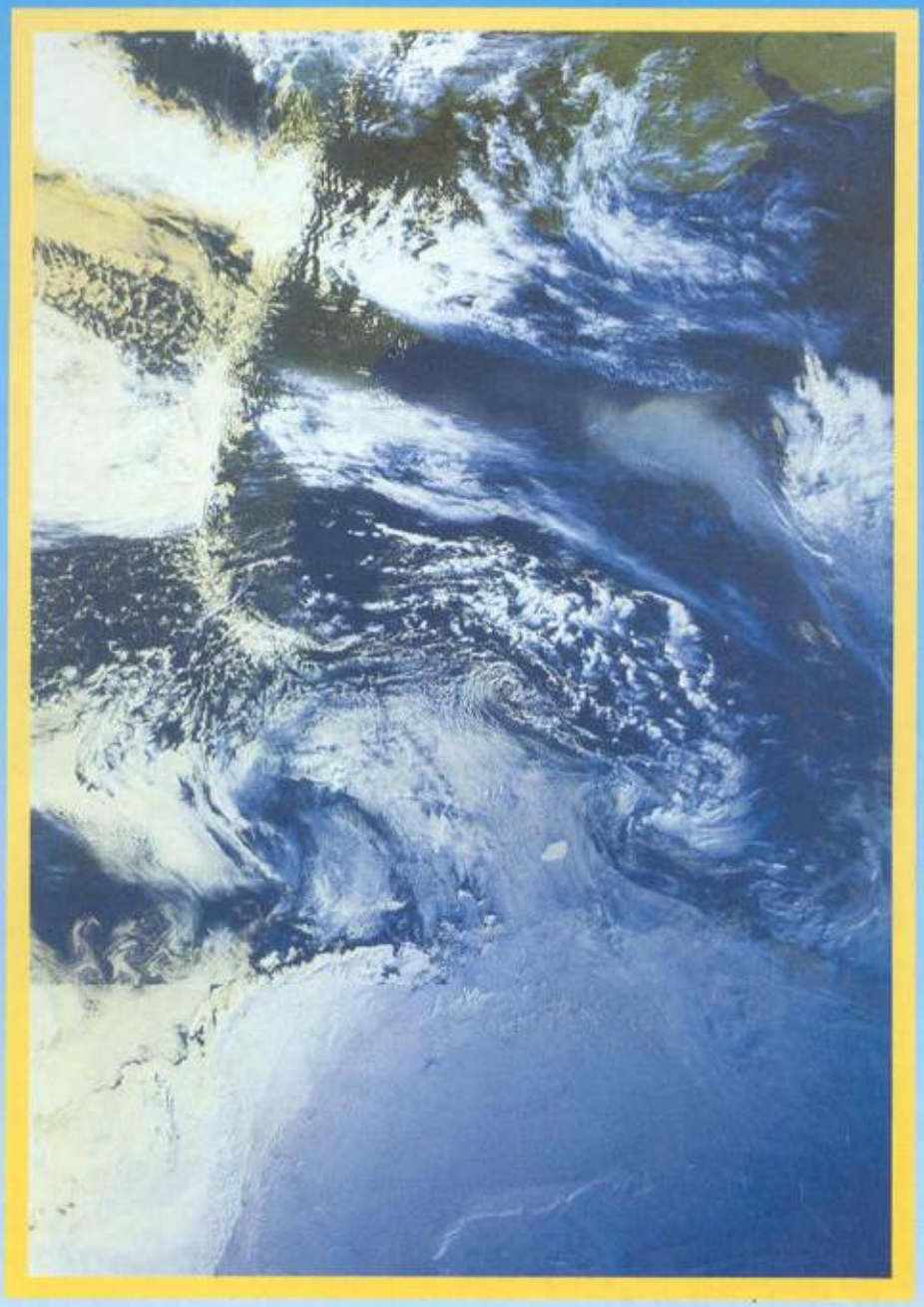
VOL. 10, Nº 1-2 PUBLICACION TRIMESTRAL SELPER MARZO - JUNIO 1994

SELPER

REVISTA TÉCNICA, DE INTEGRACIÓN IBEROAMERICANA Y MUNDIAL
REVISTA TÉCNICA, DE INTEGRAÇÃO IBERO-AMERICANA E MUNDIAL
TECHNICAL REVIEW FOR IBERO-AMERICAN AND WORLDWIDE INTEGRATION



esa
european space agency
agence spatiale européenne

8-10 rue Mario Nikis - 75738 PARIS Cedex 15 - FRANCIA.
Tel: (33.1) 42 73 76 54 - Tlx: 202746 ESA - Fax: (33.1) 42737560

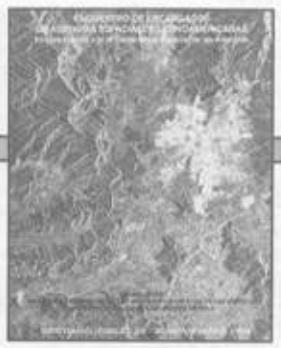
Revista SELPER

SOCIEDAD DE ESPECIALISTAS LATINOAMERICANOS EN PERCEPCION REMOTA
SOCIEDADE DE ESPECIALISTAS LATINO-AMERICANOS EM SENSORIAMENTO REMOTO
SOCIETY OF LATINAMERICAN SPECIALISTS ON REMOTE SENSING

VOL. 10 Nº 1-2 EDICION TRIMESTRAL MAR. - JUN. 1994

FOTO PORTADA: *Mosaico NOAA - AVHRR, mostrando el alcance de la Estación Alemana en Base Chilena O'Higgins (Fuente: DLR, Alemania).*

FOTO CONTRAPORTADA: *Sector de Imagen Multitemporal ERS-1 sobre Santiago de Chile (Fuente: ESA, DLR; gentileza Sr. Maurizio Fea, ESA / Roma).*



REVISTA SELPER
Director Editorial: Prof. Mauricio Araya - Figueroa
(Vice-Presidente 1980-83, Presidente SELPER 1983-86, Vice-Presidente 1986-89)
Presidente Madero 795 (Ñuñoa), Santiago, Chile. Fono: 6967583, Télex: 240501 - BOOTH CL. Fax: (56.2) 6981474

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DIRECTORIO SELPER, SEDE COLOMBIA 1993 - 1995

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Carrera 30, Nº 48-51.
Bogotá, Colombia. Tel.: (57.1) 268.0106, Fax: (57.1) 268.0004

PRESIDENTE
Dra. GLORIA CECILIA BARNEY D.
Colombia

VICE-PRESIDENTE
Ing. WALTER DANJOY-ARIAS
Perú

VICE-PRESIDENTE
Dra. MYRIAM ARDILA T.
Colombia

VICE-PRESIDENTE
Dr. ROMAN ALVAREZ
México

SECRETARIO GENERAL
Dr. LEONARDO GONIMA
Colombia

COORDINADOR NACIONAL COLOMBIA
Dr. LUIS CARLOS MOLINA
Presidente Sociedad Colombiana de Fotogrametría y Percepción Remota

TESORERO
Sra. ANGELA ANDRADE
Colombia

RELACIONES INTERNACIONALES
Dr. ROBERTO PEREIRA DA CUNHA
Brasil
Dr. LUIS CARLOS MOLINA
Colombia

DIRECTOR EDITORIAL
Prof. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA
Chile
Dr. LUIS G. BARTOLUCCI
EE. UU. / Bolivia

DOCENCIA E INVESTIGACION
Dr. ALVARO ESPINEL, Colombia
Dra. TANIA MARIA SAUSEN, Brasil
Dra. MARIA CRISTINA SERAFINI
Argentina

CAPITULOS NACIONALES SELPER - COORDENAÇOES NACIONAIS SELPER

CAPITULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA:
Dra. María Cristina Serafini, Universidad Nacional de Luján, Depto. Ciencias Básicas (PRODITEL), Rutas 5 y 7, (6.700) Luján (B). Tel.: (54.323) 21030, Fax: (54.323) 25795 / 24385.

BOLIVIA:
Dra. Sophie Moreau, Presidente ABTEMA. Casilla 14248. La Paz, Bolivia. Tel.: (591.2) 359.729 y 355.824 int. 18, Fax: (591.2) 392.307.

BRASIL:
Dra. Thelma Krugg, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, Avda. Dos Astronautas 1758 - P. O. Box 515,(12201) São José dos Campos, SP. Tel.: (55.123) 418977, Fax: (55.123) 218743.

CHILE:
Ing. Roberto Richardson V., Toltecas 8815 (Las Condes). Santiago. Tel/Fax: (56.2) 229.7185. Universidad de Santiago, Depto. Ingeniería Geográfica. Tel/Fax: (56.2) 681.1213.

COLOMBIA:
Ing. Luis Carlos Molina, Presidente Soc. Colombiana de Fotointerpretación y Sensores Remotos (SCF). Calle 93 bis. Nº 19-50. Bogota. Tel. (57.1) 616.1335 / 36 y 214.4094. Fax: (57.1) 616.1332.

ECUADOR:
Cnel. Victor A. Medrano, Director Ejecutivo CLIRSEN. Seniergues S/N y Gral. Paz y Miño. 4º piso, Edificio IGM. Aptdo. 8218. Quito. Tel. (593-2) 549-472 y 542-700. Fax: (593-2) 581-066.

MEXICO:
Dr. Román Alvarez, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Apartado Postal 20-850. 01000, México, D.F. Tel.: (52.5) 622.4339 / 4340 / 4341, Fax: (52.5) 616.2145.

PERU:
Ing. Walter Danjoy Arias, ITD (Información, Tecnología y Desarrollo). Libertad Nº 497, Of. 301 (Miraflores). Lima 18, Perú. Tel.: (51.14) 466.097, Fax: (51.14) 454.121 y 440.660.

URUGUAY:
Cmel. Washington Odelia, Director Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales, Fuerza Aérea. Brigada Aérea 1, Ruta 101 km. 19. Carrasco - Canelones. Tel.: (598) 600.257 y 611.701 int. 3771, Fax: (598) 616.910.

VENEZUELA:
Ing. Gustavo Ruiz, Jefe Centro Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI), Instituto de Ingeniería. Apartado 40.200. Caracas 1040 A. Tel.: 962-1124. Fax: 962-1025.

CAPITULOS EN FORMACION

COSTA RICA:
M. Sc. Carlos L. Elizondo, Instituto Geográfico Nacional, Aptdo. Postal 2272. 1000 San José de Costa Rica. Telef: (506) 272128, ext. 26. Télex: 2493 MOPT.

CUBA:
Ing. Eloy Pérez-García c/o Ing. Lucas Fernández-Reyes, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Loma y 39. Nuevo Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba. Tel.: 3-9966 ext. 69. Fax: (53.7) 625.604/5.

EL SALVADOR:
Ing. Jorge García Escobar, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Rep. Los Rosales Pje. 2 Nº 14-C San Salvador, El Salvador.

GUATEMALA:
Ing. Carlos Lemmerhoffer A., Supervisor Técnico, Instituto Geográfico Nacional (IGN). 23 Avenida 31-60, Zona 12. Guatemala 01012. Telef: (502-2) 764071. FAX: (502-2) 343412.

JAMAICA:
Ing. Christian Wolffe, College of Arts, Science and Technology. 237 Old Hope Road, Kingston 6, Jamaica. Tel.: (809) 92-71680/8, Fax: (809) 92-71925.

PANAMA
Aura Beatriz Reina Lewis, Dirección General de Recursos Minerales. Apdo. 6-5213 El Dorado, Panamá. Tel.: (507) 36-1823/36-1825.

PARAGUAY:
Ing. Facundo S. Recalde Ramos, Servicio Forestal Nacional. Tacuari entre 25 de Mayo y Cerro Corá. Edificio Patria 4, 6º piso. Asunción, Paraguay. Tel.: 493793 (Oficina).

REP. DOMINICANA:
Ing. Orlando Adams I., Instituto Geográfico Universitario. Calle El Vergel 57. Santo Domingo, Rep. Dominicana. Telef: 5672823.

CAPITULOS ESPECIALES

ALEMANIA:
Dr. Klaus Reiniger, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (DLR). D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland. Tel.: (08153) 28897, T-fax: (08153) 281343, Tlx: 5270287 dadf d.

CANADA:
Dr. Fritz P. Dubois, 25 Midland CRS, Nepean ONTARIO KH2 - 8N2. Telef: (613) 596-4164. FAX: (613) 723-9626. Canadá.

ESPAÑA:
Dr. José L. Labrandero, Presidente de la Asociación Española de Teledetección (AET). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Pinar 25. Madrid 28006. España. Tel: (91) 411.10.98 y 261.53.08. Fax: (91) 262.55.67.

USA:
Dr. Luis Bartolucci, Mid. America Remote Sensing Center (MARC). Murray State University, Murray, Kentucky 42071, U.S.A. Telef: (502) 762-2591-2085. FAX: (502) 762-4417.

FRANCIA:
Dr. Jean-Luc Devynck, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). Chef Dpt. Coopération et Développement. 2, Place Maurice Quentin, 75039 Paris Cedex 01, Francia. Télex: 214674 F CNESP. Teléfono: 45087568. FAX: (1) 45087773.

HOLANDA:
Prof. Dr. Ir K. J. Beek, Rector ITC.
Dr. Carlos Valenzuela, ITC, 350 Boulevard 1945, P.O.X. 6. 7500 AA Enschede, Holanda. Tel.: (31) 53.874.214, Fax: (31) 53.874.200.

PORTUGAL,
Actualmente en formación.

KENIA,
GANA,
NIGERIA,
ETIOPIA:
Actualmente en formación, a través del Capítulo SELPER Brasil (INPE).

COMITE EDITORIAL

DIRECCION EDITORIAL

DIRECTOR EDITORIAL
Prof. Mauricio Araya F. (Chile)
Presidente SELPER (1983-86)

Subdirección Editorial
Ing. Jorge Tapia C. (Chile)
Dr. Roberto Pereira Da Cunha (Brasil)

Subdirección Científica
Dr. Luis A. Bartolucci (EE. UU. / Bolivia)
Dr. Paulo Roberto Martini (Brasil)
Dr. Jorge Lira (México)
Prof. Marcelo Campi (Argentina)
Dr. Leonardo Gónima (Colombia)

COMITE PUBLICACIONES
(SELPER-CHILE)

Editor Técnico
Sr. Hernán Figueroa R.
Arte y Dibujo
Sr. Roberto Piña O.
Traducción e Interpretación
Prof. Mauricio Araya F.
Srta. Adriana Vidaurre O.
Diagramación Electrónica
Sr. A. Freddy Riquelme R.
Secretaria/Digitadora
Srta. Rosy Arce R.

IGM (CHILE)
Sr. Director del Instituto Geográfico Militar
Bgl. Enrique Gillmore Callejas
Sr. Sub-Director del IGM
Crl. Marcelo Escobar Fuentes

COMITE DE EXPERTOS

ARGENTINA
Ing. Miguel Sánchez-Peña
Presidente SELPER (1989-91)
Ing. Marcelo Campi
SVDSA
BRASIL
Dr. Roberto Pereira Da Cunha
INPE - Presidente SELPER (1986-89)
Ing. Paulo Cesar Gurgel de Albuquerque
Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)
CANADA
Ing. Fritz P. Dubois
DATACAP/CIDA
COLOMBIA
Ing. Luis Carlos Molina
Ing. Myriam Ardila
Instituto Geográfico Agustin Codazzi
IGAC (ex CIAF), SCFR
CHILE
Tcl. Pablo Gran López
Crl. Jorge Tapia Castillo
Instituto Geográfico Militar (IGM)
ECUADOR
Ing. Patricio Toledo
Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN)
Ing. Alberto Segovia Ch.
Presidente SELPER (1980-83)
EE.UU.
Dr. Luis Bartolucci
Murray State University (MARC)
MEXICO
Dr. Jorge Lira
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Ing. Alfonso Zarco (INEGI)
PERU
Ing. Walter Danjoy Arias
ONERN - Presidente SELPER (1991-93)
Ing. Oscar Sakay H. (APAFA)
VENEZUELA
Ing. Gustavo Ruiz (CPDI)
Geog. Francisco Guerra (CPDI)

INDICE TEMATICO

Pág.

PRESENTACION 4

SECCION ACTIVIDADES LATINOAMERICANAS

- CONSTITUCION CAPITULO SELPER - BOLIVIA 5

SECCION ARTICULOS TECNICOS Y CIENTIFICOS

- CLASIFICACION DIGITAL DE COMBUSTIBLES FORESTALES A PARTIR DE IMAGENES DE ALTA RESOLUCION Y MODELOS DIGITALES DE TERRENO
  Roberto Castro Ríos (Chile), Emilio Chuvieco Salinero (España) 8
- APLICACION DE S.I.G. Y PERCEPCION REMOTA EN LA IDENTIFICACION DE AREAS DE RIESGOS NATURALES EN LA CIUDAD DE ARICA
  Patricio Zavala O., Alejandro Tapia T., Alfonso Díaz A. (Chile) 16
- DESCRIPCION DE PLUMAS VOLCANICAS DESDE DATOS NOAA-AVHRR
  P. Acevedo A. y A. Llancaqueo H. (Chile) 19
- LA CARTA DE CLIMAS TERMICOS, HUMEDOS Y DE VENTILACION DEL VALLE DEL RIO ITATA
  Mónica Ihl, Marta Henríquez (Chile) 22
- ANALISIS COMPARATIVO, VISUAL Y DIGITAL, DE FOTOGRAFIAS AEREAS PANCROMATICAS EN VISIBLE E INFRARROJO CERCANO
  Griselda E. Carñel, Armando Brizuela, César A. Aguirre y Walter Sione (Argentina) 28
- FIRST THEMATIC RESULTS USING MOMS-02 DATA AND FUTURE GEOSCIENTIFIC UTILIZATION
  H. Mehl, J. Bodechtel & Q. Lei (Alemania) 33

SECCION ACTIVIDADES INTERNACIONALES

- Congresos destacados 40

PATROCINIO IBEROAMERICANO E INTERNACIONAL ..... 41 - 48

- ESA, European Space Agency (Europa)
- CNES, Centre National d'Etudes Spatiales (Francia)
- DLR, Deutsche Forschungsanstalt Für Luft-Und Raumfahrt (Alemania)
- IGM, Instituto Geográfico Militar (Chile)
- ITC, International Technological Institute (Holanda)
- INTERA (Canadá)
- MDA, McDonald Dettwiler Associates (Canadá)
- INTERGRAPH (EE.UU.)
- I²S, International Imaging Systems (EE. UU.)
- ASHTECH (EE. UU.)

Fotocomposición: G.C.A. PUBLICIDAD LTDA.
Catedral 1063, Local 1053. - Fono/Fax: 6994851, Santiago, Chile
Separación de Colores: MACHADO,
Rafael Prado 403 - Fono 2740530 - Fax: 2254133. Santiago, Chile
Impreso en los Talleres Gráficos del INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR
Nueva Santa Isabel 1640 - Teléfono: 6968221
TLX: 441677 IGMCZ. - Fax: 6988278 - Santiago, Chile

EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA — **PROHIBIDA SU VENTA**

Directorio SELPER Sede Colombia (1993 - 1995). De izq. a der.: Dra. Gloria Cecilia Barney (Presidente), Dr. Roberto Pereira Da Cunha (Dirección Relaciones Internacionales y Presidente SELPER 1986 - 89), Dra. Myriam Ardila (Vice-Presidente), Ing. Walter Danjoy (Vice-Presidente y Presidente 1991 - 93), Prof. Luis Carlos Molina (Dirección Relaciones Internacionales y Presidente SCF), Dr. Alvaro Espinel (Dirección Docencia e Investigación), Dr. Román Alvarez (Vice-Presidente), Dr. Luis Bartolucci (Subdirección Científica Comité Editorial), Prof. Mauricio Araya F. (Director Editorial y Presidente SELPER 1983 - 86).

NOTA DEL EDITOR

Prof. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA
Presidente SELPER 1983 - 1986

Este número de la Revista SELPER corresponde al Primer Semestre 1994, debido a la difícil situación económica por la que ha atravesado nuestro continente y en consecuencia SELPER. Se espera regularizar la Edición Trimestral de la Revista a contar de 1996, dado que las perspectivas para 1995 son mejores que en el período 1992 - 1994, pero restan mucho de ser las ideales.

Es importante destacar el compromiso de la Sede SELPER Colombia para regularizar la continuidad de nuestras publicaciones. Nuestros sinceros agradecimientos a todos los que han hecho posible continuar avanzando, pues hemos detectado la importante solidaridad latinoamericana y mundial.

Para el Segundo Semestre 1994, está contemplado un número especial de la Revista SELPER, con trabajos seleccionados de la Comisión VII de la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Percepción Remota, ECO-RIO '94.

En este número se han incluido en forma especial, trabajos seleccionados del VI Encuentro Nacional SELPER Chile, desarrollado en Viña del Mar, Chile, bajo la dirección del Prof. Pablo Muñoz y la Srta. Jacqueline Rivera. Creemos que esta es una manera efectiva de incentivar estos Encuentros Nacionales en todos los Capítulos de SELPER, por lo que esperamos a futuro recibir contribuciones selectas de otros eventos similares desarrollados en países hermanos. Por supuesto, también se han incluido los trabajos más destacados recibidos como contribución en este Primer Semestre 1994, resaltando en forma especial los resultados obtenidos por el Sistema MOMS-02 de Alemania. Finalmente nuestros reconocimientos a todos nuestros colaboradores y patrocinadores latinoamericanos e internacionales.

PARTICIPANTES XIV REUNIÓN PLENARIA SELPER (izq. a der.): Sr. Luis Bartolucci (EE. UU.), Sr. Román Alvarez (México), Sra. María Cristina Serafini (Argentina), Sr. Luis Carlos Molina (Colombia), Sr. Washington Odella (Uruguay), Sra. Myriam Ardila (Colombia), Sr. Mauricio Araya (Chile), Sr. Leonardo Gónima (Colombia), Sra. Sophie Moreau (Bolivia) y Sra. Gloria Cecilia Barney (Colombia).

FELICITACIONES - BIENVENIDOS

CONSTITUCION CAPITULO SELPER - BOLIVIA

MIEMBROS DE SELPER-BOLIVIA AL 15 DE JUNIO DE 1994

Coordinación Nacional: Dra. Sophie Moreau (Presidente ABTEMA)

Institucionales

ABTEMA
Att: Señora
Sofia Moreau
Av. Arce Nº 2579 (esq. Pinilla)
Casilla 14248
Tel./FAX: 315220 / 324609
Tel.: 355824, int. 18
E-Mail: abtema@abtema.bo
La Paz

CISTEL-UMSS
Atte: Señor
Raúl Rico Gamboa
Av. Petrolera, Km. 5
Casilla Nº 5695
Cochabamba.

SEMENA
Att: Señor
Claude Le Noir Kennol
Jefe de proyecto
Cooperación Técnica Belga
Barrio Petrolero Norte s/n
Casilla 2944
Tel/FAX: 88893; Tel/FAX: 82155
Cochabamba

INE
Att: Señor
Carlos Garafulic
Plaza Mario Guzmán Aspiazu
#1, Casilla Nº 6129
Tel./Fax: 354230
La Paz

SERVICIO NACIONAL
DE AEROFOTOGRAMETRIA
Att: Señor
Cnl. DEMA Erlán Camacho
Director
Calle Reyes Ortiz Nº 41
Casilla Nº 6059;
Tel./Fax: 358647
Tel.: 379061/358587
La Paz

Individuales

Señor
Abalardo Alarcón
Asistente Investigador Centro de Investigacion del Honorable Congreso Nacional,
Edificio ex. Banco Central, piso 3
Tel.: 361337; FAX: 314032
E-mail: alarcón@unbol.bo
La Paz

Señor
Angel Aliaza Rivera
Facultad de Ingeniería - UMSA
Av. Mariscal Santa Cruz Nº 1175
Casilla 8610
Tel.: 359579; FAX: 365503
La Paz

Señor
Juan Pablo Arce Salcedo
Coordinador Nacional
Red de Desarrollo Sostenible - PNUD
Casila Nº 12814, Tel.: 369383
E-mail: jpa@rds.bo
La Paz

Señor
Belisario Aranda
COMPAC - ORURO
Ing. Agrónomo
Rio Seco, Manzana "D" Nº 418
Tel.: 850702
La Paz

Señor
Jorge Asebey Morales
CORDECH
La Madona
Tel: 31956/23659
Sucre

Señor
Enrique Asturizaga
Programa Indigena - N.U.
Edif. Dante, Mcal. Santa Cruz
Tel.: 358590-96
La Paz

Señora
Vivian Roxana Barba Montero
INE
Calle Villagómez Nº 1161
Alto Obrajes - Sector "B"
Tel. 730792
La Paz

Señor
Jaime Bass Werner
DIMA Ltda.
Av. Sánchez Lima # 2626
Casilla: 11373;
Tel.: 375150; Fax: 391346
La Paz.

Señor
José Luis Bejarano Rejas
Consultor, Ing. Civil
Tel.: 41430, Oruro
Tel.: 527175, Santa Cruz

Señor
Roland Bosseno
ORSTOM-SENAMHI
Av. Arce 2579
Casilla 9214;
Tel.:355824
Tel./FAX: 315220
La Paz

Señor Oscar Bustillos
Av. Circunvalación Nº 29
(Koani-Calacoto)
Tel.: 790215/358590/323745
La Paz

Señor
David Crespo
Ing. Electrónico (Particular)
Pedro Salazar Nº 676
Casilla: 14834
Tel.: 320605
Fax: 327612
La Paz

Señor
Marco A. Cala
COMALS
Programador
Batallón Loa Nº 234
Casilla: 13984
Tel.: 376484
La Paz

Señor
Guillermo Calderón
Rumiantes Menores CRSP
Calle Batallón Colorados
Edif. El Cóndor, piso 3
Casilla 10436
Tel./FAX: 392551; Tel:357226
E-mail: crsp@unbol.bo
La Paz

Señor
Jorge Chavarría
Consultor - Aerofotogeodesia
Ciudad Satélite, Plan 175
Calle 17 Nº 272
Casilla 13567
Tel.: 810854
La Paz

Señora
Willma Cordero
INE
Egresada Arquitectura
Plaza del Periodista Nº 1
Casilla: 6129
Tel.: 329680
Fax: 344230
La Paz

Ing. Jorge Córdova Cardozo
Jefe de Carrera de Geografía
UMSA
Av. 6 de Agosto, Edif. Hoy, piso 4 Casilla 12198,
Tel.: 359581/390357
La Paz

Señora
Mary Chavarría
Edificio Naira, Of. 9, La Paz
Casilla: 7639;
Tel. 392875/212839
La Paz

Señor
J. Eduardo Delgado C.
Casa Bernardo S. A.
Calle Camacho Nº 1296
Casilla: 2952;
Fax: 328183
Tel.: 790228-327090
La Paz

Señor
Jorge Elbers
Instituto de Ecología
Lic. en Geografía
Calle 27, Cota Cota
Casilla: 10077
Tel.: 792582
La Paz

Señor
Francisco Ergueta
FAO
Calle Arturo Borda Nº 1881
Casilla 736
Tel.: 359818/357957
FAX: 359831
La Paz

Señor
Fornari
Geólogo
ORSTOM
Casilla: 9214
La Paz

Señor
Edgar Imaña Maldonado
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Agrometeórologo
Av. Arce Nº 2579
Casilla: 13837
Tel.: 326165-355824
Fax: 391324
La Paz

Señor
Alberto Jiménez Martínez
YUNTA
Calle Carril de Cuenca Nº 9
3ro. CD Adra- Almería, España
Casilla 6469
Tel.: 375451
La Paz

Señor
Diego Muñoz
UNITAS- PROCADE
Abdón Saavedra Nº 2323,
La Paz Tel.: 321607/353048
La Paz

Señor
Ignacio Osvaldo
Martínez Tudela
Calle Bolivar Nº 656, piso 3
Casilla 6096
Santa-Cruz

Señora
Clonice Rejane Haselein
Geógrafa
CONSORCIO IP/KIW
Av. Santos Dumont Nº 300
Tel.: 344469 (03)
Santa Cruz

Señora
María Otero Valle
Proyecto UMBRELA/
NACIONES UNIDAS
Av. Mcal. Santa Cruz Nº 1380
Edif. Naciones Unidas
Tel.: 358590-96; Fax: 323745
La Paz.

Señor
Bernardo Paz
Jefe de Biometría
IBTA
Calle Batallón Colorados
Edif. El Cóndor, piso 12, of.8
Casilla 10436
Tel.: 374289; FAX: 378083
La Paz

Señor
Jaime Paz Velazco
EMA
Ingeniero Geógrafo
Av. Arce No.
Casilla No. 8546
Tel.: 374044
Tel. Dom.: 371881
La Paz

Señor
Marcelo Pinto
AGROCONSUL
Ingeniero
Plaza Villarroel No. 7
Casilla: 7170
Tel.: 251521
La Paz

Señor
Fernando Pou Munt
PRODENA
Av. Arce Nº 2308
Casilla: 290, Tel.: 355447
La Paz

Señor
Luis Pozzo Iñiguez
HAMEA
Calle Vincenti Nº 963
Casilla: 14914;
Tel.: 372252/325824
La Paz

Señor
Gonzalo Quenta Quispe
Zona Tacagua Nº 18
Av. Julio Téllez
Casilla Nº 4026; Tel.: 373860
Presente

Señor
Rodolfo Quiroga
CUMAT
Av. 20 de Octubre
Edif. Guadalquivir, Of. 404
Casilla 10387, Miraflores;
Tel.: 360034 /343710
Fax: 375496
La Paz

Señor
Roberto Quiróz Guerra
CONDESAN - CIID
Calle Batallón Colorados
Edificio El Cóndor, piso 3, of. 7
Casilla 5783
Tel./FAX: 358680
E-mail: roqui@unbol.bo
La Paz

Señor
Jorge Antonio Ruiz Martínez
Ingeniero Agrónomo
CODETAR
Av. Paz Estensoro esq. España
Casilla: No. 5
Tel.: dom.: 44283
Of.: 31011(064)
Tarija

Señora
María Alejandra Rodríguez
INE
Subdirector Cartografía,
Censos y Encuestas
Plaza del Periodista Nº 1
Casilla 6129
Tel.: 329680
Fax: 344230
E-Mail: mrodrigo ine.bo
La Paz

Señor
Nicolás Ríos Hinojosa
Secretaría Nal.
de Asuntos Etnicos
Calle Guachalla Nº 125
Tel.: 322330; FAX: 353771
La Paz

Señor
Tomislav Kuljis F.
Calle 24 de Septiembre Nº 455
Casilla 122
Tel.: 322297 - 322497;
FAX: 3-329402
Santa Cruz

Señora
Tamara La Fuente
CONALSA
Socióloga
Gregorio Gabarra Nº 100
Bella Vista - Obrajes
Casilla: 13984
Tel.: 783034
La Paz

Señor
Raúl Lara Rico
CUMAT
Av. 20 de Octubre
Edif. Guadalquivir, Of. 404
Casilla Nº 10387, Miraflores;
Tel.: 343710/360034
FAX:375496
La Paz

Señor
Rubén Ledesma
YUNTA
Calle Monje Nº 18
Casilla 6469
Tel.: 375451
La Paz

Señor
Máximo Libermann Cruz
Av. Costanera # 80, Achumani
Casilla 14248
Tel.: 710313; FAX:797511
La Paz

Señor
Herman López Vaca
GEOSYSTEMS S.R.L.
Calle Bolívar No. 656, piso 3
Casilla 6096;
Tel./FAX: 03-351506
Santa-Cruz

Señor
Federico Javier Mazo Bazás
HAM-GTZ / Control y Manejo de
Cuencas
H. A. M., Edif. Central, piso 4
Casilla 9206;
Tel.: 372662;
FAX: 391176
La Paz

Señor
Nelson Massy Quiroga
RUMIANTES MENORES
Ing. Agrónomo
Batallón Colorados
Edif. El Cóndor, 3er. piso
Tel.: 392551
La Paz

Señor
Victor Moscoso
PROSABAR
Ing. Electrónico
Calle 15, Achumani Nº 502
Casilla: 2139
Tel.: 790387
La Paz

Señora
Carmen Montoya M.
Ing. Agrónoma (Particular)
c. Rurremabaour Nº 1444
Villa Fátima
Casilla: 3062, Tel.: 210101
La Paz

Señor
Laurence Marándola
PROCADE AROMA
Agrónomo
Av. República No. 1038
Casilla: 8666-8679
Tel.: 352246
La Paz

Señora
Silvia Martínez
Stría. de Desarrollo Rural
Ing. de Sistemas
Fernando Guachalla Nº 795
Tel.: 379396
La Paz

Señor
Ricardo Montero
Programador en Computación
Proyecto de Protección
Recursos Naturales
Edif. CORDECRUZ
Tel.: 348606
Presente

Señor
Esteban Miranda
UNITAS- PROCADE
Abdón Saavedra Nº 2323
Tel.: 352246/353048
La Paz

Señora
Sophie Moreau
ABTEMA
Av. Arce 2579
Casilla 14248
Tel./FAX: 315220
E-mail: abtema@abtema.bo
La Paz

Señor
Ocampo Ramiri
INEDER
Economista
c. Ollantay Nº 961
Casilla 2760 Tel.: 23456
Cochabamba

Señor
Alvaro Rivera
Centro de Estudios de la
Realidad Económica y Social
Av. Guillermo Urquidi Nº 1570
Casilla 949
Tel.: 31906; FAX: 32310
Cochabamba

Señor
Mario W. Sandoval
Jefe Dpto. Recursos Naturales
Instituto Geográfico Militar
(IGM)
Av. Saavedra 2303
Estado Mayor General
Tel.: 378194, int. 642-645
FAX: 368329
La Paz

Señor
Heriberto Salamanca
UNIVERSIDAD AUTONOMA
TOMAS FRIAS
Decano Facultad de
Ingeniería Geológica
Bustillos No. 789
Tels.: 2-7311, 2-5767,
Fax: (062) 26663
Potosí

Señor
José Oscar Siles Salas
CUMAT
Av. 20 de Octubre,
Edif. Guadalquivir, Of. 404
Casilla Nº 10387, Miraflores;
Tel.: 360034/343710;
FAX: 375496
La Paz

Señor
Reinhardt Stache
HAM
Calle Mercado, Esq.Colón s/n
Edif. Central, piso 3
Casilla: 9206; Tel.: 372662/
359968 Fax: 391176
La Paz

Señor
Jurgen Storl
HAM/DICOMAC/GTZ, Edif. H.
Alcaldía Municipal, 3er. Piso
Casilla Nº 9206; Tel.: 372662
La Paz

Señor
Hilarión Tenorio
INE
Plaza del Periodista Nº 1
Casilla 6129
Tel.: 329680
Fax: 344230
La Paz

Señor
Gustavo Tapia Daza
Analista de Sistemas
Sub Proyecto de Protección de Etnias y Recursos Renovables
Casilla: 4064 - Tel.: (0932) 2032
Fax: (0932) 2007
Tel. dom.: 525576
Buena Vista - Santa Cruz

Señor
Víctor Vladimir Tirado Márquez
UNICEN - ARGENTINA
Alto Obrajes, Sector "A"
Calle Molina # 338
Casilla 5193
Tel.: 785168
E-mail: vtirado@unbol.bo
E-mail: vtirado@tandil.edu.ar
La Paz

Señor
Bjoor Troeng
GEOBOL
Calle Federico Suazo Nº 1673
Casilla: 13674;
Tel.: 377381; Fax: 392077
La Paz

Señor
Moisés Ureña Espinoza
IBTA-Chapare
Av. Melchor Pérez de Olguín Nº 1046
Tel.: 80730
Cochabamba

Señor
Wilfredo Juan Verástegui
PROCADE - UNITAS
Calle Covendo Nº 846
Villa Fátima
Tel.: 210481
La Paz

Señor
Miguel A. Vera
LAND SERVIS
Ing. Geógrafo
Calle 21, Achumani
Casilla: 3237
Tel.: 710945
La Paz

Señor
Marcelo Villegas
Univ. del Valle
Calle Diómedes de Pereira
Nº 555
Tel.: 48483
Cochabamba

Señor
Fernando Yáñez Camacho
Facultad Nal. de Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Plaza Ingavi Nº 1927
Casilla 200
Tel.: 54770 / 61028
Oruro

Señora
Dorys Nidia
Zambrana Aramayo
SENAMHI
Av. Arce 2579
Casilla 10993
Tel.: 731115 /361329
FAX: 392413
La Paz

Señor
Reynaldo Javier Zeballos Daza
CICON
Villa San Antonio
c. Alberto Mendoza Nº 1933
Casilla: 8442
Tel.: 231535/366672
La Paz

Estudiantes

Freddy Avila
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Ballivián Nº 1140
Oruro

Señor
Boris Arias Irusta
Dept. Geografía - UMSA
Rosendo Gutiérrez Nº 920
Sopocachi
La Paz

Señora
Leonor Arias Irusta
Dept. Geografía- UMSA
Rosendo Gutiérrez Nº 920
Sopocachi
La Paz

Señor
Ramiro Cartagena Chávez
Dept. Geografía - UMSA
Barrio Gráfico s/n
Villa Fátima
Tel.: 211762
La Paz

Señor
Emilio Delgadillo
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
(Internado FNI)
Ave. Pagador Nº 6548
Casilla 200
Tel.: 61028
Oruro

Señor
Alex Enriques
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Pagador Nº 6980
Tel.: 61929
Oruro

Señora
Verónica Espinoza Chambi
Ingeniería Civil (FNI)
Univ. Técnica de Oruro
Av. La Paz Nº 39
Ballivián - Pagador
Tel.: 42880
Potosí

Señora
Ivette Felipe
Fac. Economía
Univ. Técnica de Oruro
Velazco Nº 5177
Tel.: 42640
Oruro

Señora
Karina Gonzáles Bemal
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Estación Central Nº 50,
Tel.: 51759
Oruro

Juan J. Goitia Bracamonte
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Montecinos, La Paz Nº 519
Oruro

Señor
Abasto Severich Melvy
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
San Felipe Nº 291
Oruro

Señor
Percy Soria Galvarro Rocha
Facultad Nal. Oruro
Ing. Civil
Univ. Técnica de Oruro
Av. Pagador 6548
Casilla 200, Tel.: 61028
Oruro

Señora
Marianela Martínez
EMI
Edif. Villalobos
Casilla 2182
Tel.: 377987
La Paz

Señor
Marcelo Moscoso Rodríguez
Facultad Nal. de Ingeniería
Ingeniería Civil
Univ. Técnica de Oruro
Pagador Nº 5065
Tel.: 41830
Oruro

Señor
Marcelo Montes Montaño
ENT
Federico Suazo Nº 2126
Tel.: 710934
La Paz

Señor
Julio Mercado Fuentes
Facultad Nacional Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Jaén-Tarapacá Nº 2330
Tel.: 60620
Oruro

Señora
Silvia Ortuño Yáñez
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Av. Pagador No. 6548
Casilla 200
Tel.: 61028 /61614
Oruro

Señor
Rodolfo Orellana Chapar
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Calle 18 de Mayo Nº 0143
Tel.: 62099
Oruro

Señor
Grover Rocha Chugar
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Velazco Galbarra Nº 7304
Tel.: 60565
Oruro

Señor
John Rodríguez Medina
FNI
Final Sucre 1325, Oeste
Tel.: 55422
La Paz

Señor
Franco Rocha Gárnica
Univ. GABRIEL
RENE MORENO
Barrio Febrer, Calle "C" Nº 27
Tel.: 421937
Santa Cruz

Señor
Yuri Sandoval Montes
Dept. Geografía- UMSA
Los Robles No. 364
Villa San Antonio
Tel.: 230235
La Paz

Señor
Oscar Sanjinés Portugal
Facultad Nal. de Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Calle 6 de Octubre - Aroma
Tel.: 40690
Oruro

Señora
Carmen Rosa Sandoval Gómez
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Potosí Nº 6509 - Tel.: 55628
Oruro

Señora
Evelyn Taucer Monrroy
Instituto Ecología
Tnte. Cnl. Agustín Saavedra
Nº 216 (Alto Miraflores)
Casilla: 7773
Tel.: 210831 - Fax: 797511
La Paz

Señora
Matilde Tejada Terceros
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Av. Pagador 6548
Casilla 200
Potosí - Ballivián
Oruro

Señor
Carlos Urquidi Zapata
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Av. Pagador 6548
Casilla 200
Potosí - Ballivián
Oruro

Señora
Lita Unzueta
Univ. NUR de Sta. Cruz
Barrio Guapay, Calle "D" Nº 71
Casilla: 2768 - Tel.: 421988
Santa Cruz

Señor
Isaac Vallejos
Facultad Nal. Ingeniería
Univ. Técnica de Oruro
Capitán Ustares y Menacho
Nº 45
Casilla: 1012
Oruro

CLASIFICACION DIGITAL DE COMBUSTIBLES FORESTALES A PARTIR DE IMAGENES DE ALTA RESOLUCION Y MODELOS DIGITALES DE TERRENO

Roberto Castro Ríos
Programa de Percepción Remota y SIG - Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306, Santiago 22. Tel: (56.2) 552.2375, Fax: (56.2) 552.6005, Santiago, Chile

Emilio Chuvieco Salinero
Departamento de Geografía. Universidad Alcalá de Henares
Colegios 2, 28801 Alcalá de Henares, España - Tel. 885.4429, Fax 885.4400

Resumen

En este trabajo se discriminan modelos de combustibles, en la costa mediterránea de Chile, utilizando imágenes LANDSAT-TM y SPOT-HRV y un modelo digital del terreno (MDT). A partir de las imágenes se ha obtenido una banda textural y un índice de vegetación de diferencia normalizada compuesto (NDVIC). Del MDT, la altitud, pendiente e iluminación. La dosificación resultante, para ocho clases de combustibles y cuatro incombustibles, otorga una fiabilidad estimada entre 70,9 y 76,5 %, y un índice Kappa de 71 %. Las variables de mayor peso en la discriminación de las clases resultaron ser las bandas del infrarrojo, rojo y verde, seguidas del NDVIC, insolación y pendiente.

SUMMARY

Discrimination of fuel models, using satellite imagery (LANDSAT-TM and SPOT-HRV) and a digital terrain model (DTM) is performed on the mediterranean coast of Chile. A band of texture and a normalized difference vegetation index component (NDVIC) has been obtained from the satellite images. Altitude, slope and shaded relief were generated from the DTM. The resulting classification, for eight that classes and four not fuel classes, yielded an estimated accuracy between 70,9 and 76,5 %, with a index Kappa value of 71 %. The main variables of major weight for discrimination the fuel classes were the following, according to their importance: the infrared, red and green bands, consecutive the NDVIC, shaded relief and slope.

1. INTRODUCCION

El problema de los incendios forestales en los países mediterráneos reviste una especial importancia, tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. Basta citar, que los países mediterráneos de la Comunidad Europea sufrieron 353.575 incendios en la última década (1981-90), afectando a 4.192.200 de hectáreas (CALABRI y CIESLA, 1992). Chile sufre una pérdida anual de 59.000 hectáreas (HALTENHOFF, 1990), que se reflejan en daños directos e indirectos del orden de 230 millones de dólares anuales.

Entre las diversas aplicaciones de la teledetección al estudio de incendios forestales (CHUVIECO, 1992), la cartografía, de las formaciones vegetales resulta especialmente clave, puesto que este factor es uno de los más determinantes en el inicio y desarrollo del fuego. Desde el punto de vista de la gestión de incendios, la cubierta vegetal tiende a clasificarse en una serie de modelos combustibles, fuel types (DEEMING et al, 1978; BURGAN y ROTHERMEL, 1984), por presentar unas características similares frente al fuego.

Su cartografía entraña importantes problemas, ya que las características del material combustible son, por un lado, bastante dinámicas, y, por otro, exigen un nivel de detalle difícilmente abordable con la periodicidad requerida. Además, y desde el punto de vista del empleo de la teledetección espacial, hay que tener en cuenta que los modelos combustibles se refieren principalmente a la vegetación de sotobosque (matorrales, pastizales, acículas, restos de poda)[1], que puede estar cubierta por el dosel superior, lo que hace compleja su definición espectral.

Pese a estas dificultades, el empleo de la teledetección, junto a variables auxiliares complementa-

1.- La mayor parte de las clasificaciones de modelos de combustibles que en la actualidad se aplican (ej. NDFDRS norteamericano, BEHAVE, ICONA) están referidos a fuegos de superficie.

rias, ha permitido abordar con cierto éxito la cartografía de modelos combustibles. Uno de los trabajos pioneros se realizó a finales de la década de los 70, sobre el Crater Lake National Park, de Oregon (RABII, 1979). A partir de imágenes LANDSAT-MSS y de información topográfica, se lograron discriminar los principales modelos combustibles del área, observándose un buen ajuste con la información de campo. Posteriormente, se han desarrollado trabajos con similar objetivo, basando la cartografía de modelos combustibles en imágenes MSS e información auxiliar (KOURTH, 1977; COSENTINO, 1977; SHASBY et al., 1981; SALAZAR, 1982; BURGAN y SHASBY, 1984; DIXON et al., 1984; AGEE y PICKFORD, 1985; ROOT et al., 1986; VAN WYNGAARDEN y DIXON, 1989). Las fuentes auxiliares más utilizadas en estos trabajos son las variables topográficas, la fotografía aérea infrarrojo y los trabajos de campo. La mayor parte de estas experiencias se basan en la clasificación no supervisada de las imágenes, con la cual se definen los grupos espectrales presentes. Una vez obtenidos éstos, se asimilan a modelos combustibles con apoyo de la información auxiliar. Este enfoque ha permitido obtener precisiones del orden del 85 % para los modelos incluidos en el National Fire Danger Rating System (AGEE y PICKFORD, 1985), y entre el 70 y el 80 % para los modelos canadienses (DIXON et al., 1984).

Aunque estos trabajos se dirigen a zonas relativamente pequeñas, también existen algunas experiencias sobre grandes espacios, apoyándose en la información facilitada por el sensor AVHRR (MILLER y JOHNSTON, 1985; MCKINLEY et al, 1985; WERTH et al, 1985). Las ventajas sobre imágenes LANDSAT atañen al menor costo y mayor repetitividad, lógicamente al precio de un menor detalle espacial, lo que invalida su empleo en modelos de cierto detalle. No obstante, para algunas aplicaciones, resulta un método suficientemente eficaz (MILLER et al, 1986).

2. OBJETIVOS

El propósito de este trabajo es establecer un método apropiado para obtener cartografía de combustibles forestales en ámbitos mediterráneos. Para ello, hemos pretendido evaluar la incidencia de distintas variables en la definición espectral de los modelos combustibles. De acuerdo a la composición de estos modelos, parecía oportuno analizar tres aspectos: estado y evolución fenológica, textura y emplazamiento. El primero se ha evaluado a partir de la comparación entre imágenes adquiridas en dos estaciones contrastadas (verano e invierno); el segundo, aplicando distintos algoritmos texturales a la banda del rojo, y el tercero, mediante la experimentación con tamaños diferentes del filtro modal.

3. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la comuna de Valparaíso, situada en la provincia del mismo nombre y perteneciente a la V Región de Chile, que se ubica en la costa central del país. Su superficie es de 30.620 há. Está situada entre los paralelos 33° y 33°13' L. S. y entre los meridianos 71° 21' y 71° 45' L. O.

La Comuna se inserta en una región mediterránea marcándose claramente las cuatro estaciones a lo largo del año. Las temperaturas, con rasgos moderados de variación, registran sus máximos en la estación de verano, de lo que resultan dos períodos bien definidos: el de superávit de humedad, que transcurre preferentemente entre mayo y septiembre, y el de déficit hídrico, entre octubre y abril. Las temperaturas medias anuales se sitúan entre los 13 y 17 °C, y las precipitaciones entre los 200 y 500 mm / año (IGM, 1985).

El territorio se caracteriza por una geomorfología montañosa, perteneciente a la cordillera de la Costa. Las cotas máximas alcanzan los 600 m, con una media de 300 m. Las pendientes predominantes se sitúan en un rango medio de 30 a 40 %, las exposiciones dominantes son norte y noroeste.

Desde el punto de vista vegetacional, el área de estudio cuenta con una alta presencia de bosques artificiales, fundamentalmente de Pinus insigne y Eucaliptus globulus.

La vegetación nativa se concentra en las quebradas y en las laderas de exposición sur, siendo también importante la presencia de matorral esclerófilo en las laderas de orientación norte. El Nothofagus obliquae (roble) encuentra aquí su límite de distribución norte, a lo que se añade la presencia en esta zona de la mayor concentración de la especie Jubea chilensis (palma chilena), que se encuentra en vías de extinción.

A lo anterior, se suma una de las reservas más importantes, desde el punto de vista productivo y de protección de fuentes de agua, como es el caso de la reserva forestal del lago Peñuela.

Las instalaciones industriales en la Región, y especialmente en la comuna bajo estudio, son aserraderos y barracas. Estas actividades se abastecen principalmente de los bosques artificiales.

La población de la comuna de Valparaíso al año del censo de 1982 alcanzaba los 272.520 habitantes (INE, 1989), de los cuales 2.103 corresponden a habitantes rurales (0,07 %).

Los centros urbanos son focos permanentes de riesgo de incendios, a consecuencia de la densidad ocupacional. Este riesgo se agrava en las temporadas de verano y los fines de semana, por cuanto esta comuna tiene una función turística de primer orden.

4. METODOLOGIA

4.1. Material

El trabajo se basa en dos imágenes satelitales, una del LANDSAT TM (bandas 2, 3, 4 y 5) y otra del SPOT-HRV (multiespectral), tomadas en invierno (22 de agosto de 1991) y verano (19 de diciembre de 1987), respectivamente.

El procesamiento digital se realizó en ordenadores personales con el sistema ERDAS (ERDAS, 1991) e IDRISI (EASTMAN, 1992). En lo que respecta al procesamiento de los datos topográficos, se utilizó una estación de trabajo RISC-6000, con el software ARCINFO para la digitalización de las cartas escala 1:50.000, del Instituto Geográfico Militar de Chile, y posterior generación del modelo topográfico digital.

Se agrega a los datos anteriores, los provenientes del campo que fueron registrados en noviembre y diciembre de 1991, y los de fichas de incendios de las temporadas comprendidas entre los años 1984 a 1988, que incluyen la localización de los combustibles incendiados.

4.2. Variables de estudio

Un primer paso fue la corrección geométrica de ambas imágenes. Los errores de la imagen SPOT fueron de

0,63148 pixeles en X y de 0,71045 en Y, con un RMS medio de 0,95053 pixeles. En el caso de la imagen LANDSAT, se obtuvieron errores de 0,48513 en X y de 0,87196 en Y, con un RMS total de 0,99783. Esto supone un error de 47,5 y 49,8 metros, respectivamente.

Las variables consideradas para la clasificación de modelos combustibles corresponden a las bandas HRV1, HRV2, HRV3 del SPOT, y las bandas TM2, TM3, TM4 y TM5 del LANDSAT. Las texturas de las bandas HRV2 y TM2, se obtuvieron con el algoritmo BCM (Matriz de Comparación Binaria) y el de varianza respectivamente. También se introdujo en el análisis una banda de cambio temporal denominada NDVIC (indice de vegetación de diferencia normalizada compuesto). Finalmente, se integraron asimismo en el modelo las variables de pendiente, altitud e insolación obtenidas del MDT.

Puesto que el NDVI resulta un índice adecuado para estudiar la dinámica de las coberturas forestales (CIHLAR et al, 1991; CURRAN, 1980; CURRAN et al, 1992), se elaboró una variable multitemporal que corresponde a la diferencia normalizada de los NDVI, según la siguiente expresión:

$$NDVIC = \left(\frac{NDVI_{(TM)} - NDVI_{(HRV)}}{NDVI_{(TM)} + NDVI_{(HRV)}} + 1 \right) \times 100$$

Este índice proporciona información crítica sobre el estado de la cubierta vegetal, considerando su estado fenológico y los cambios producidos en la vegetación entre invierno y verano. El resultado toma el valor 100 cuando no existen cambios entre ambas fechas, entre 1 y 100 cuando las zonas tienen mayor actividad fotosintética en verano (HRV) que en invierno (TM), y entre 101 y 200 en el caso contrario.

En cuanto a las bandas texturales, para determinar los algoritmos aplicados se realizó una comparación visual entre las medidas de variabilidad que son utilizadas en ecología del paisaje (MURPHY, 1985) y la usada por otros autores en trabajos de cartografía vegetacional (KOURTZ, 1977; STRAHLER et al, 1978).

La información de pendiente, altitud e insolación se generó a partir del modelo digital de terreno (MDT), el cual se realizó por interpolación lineal de perfiles, a partir de las curvas de nivel rasterizadas. Al resultado se aplicó un filtro de paso bajo para eliminar protuberancias en cotas. La verificación se efectuó mediante un muestreo sistemático de 287 puntos. El error final indica una subestimación de los valores en 10 metros.

4.3. Clasificación

El punto de entrada para la clasificación fue la definición de las clases informacionales, según la clasificación preliminar de modelos de combustibles forestales realizada para Chile (julio, 1987).

En un compromiso entre el nivel de modelos específicos y la realidad vegetacional del propio terreno, se definieron un total de 12 clases de combustibles y 5 clases incombustibles, las que se presentan a continuación[2]:

1.- Formaciones mixtas de praderas, pastizales y estratos herbáceos no leñosos, en zonas abiertas y/o asociados a estepa de Acacia caven de baja densidad (espinos). (1, 2)
2.- Pastizales y estratos herbáceos no leñosos, predominantes en formaciones de arbustos y matorrales nativos costeros. (3)
3.- Matorrales y arbustos de alta inflamabilidad, bajos, con predominancia de especies espinosas. (4,5, 27, 28)
4.- Matorral esclerófilo arborescente y matorral bajo. (6, 7, 16)
5.- Formaciones continuas de matorrales y arbustos nativos de quebradas. (8, 9)
6.- Regeneración de roble densa, con especies nativas subarbóreas y /o matorral arborescente. (10, 11, 12)
7.- Renoval de Roble con matorral, con predominancia de arbolado. (13, 14, 15)
8.- Plantaciones jóvenes de Pino Insigne (menores a 18 años), con sotobosque discontinuo de matorral y arbustos. (17,18,19)
9. Plantaciones adultas de Pino insigne (mayores a 18 años), con sotobosque discontinuo de arbustos y matorral. (20, 21, 22)
10.-Plantaciones de Eucaliptus globulus, adultas, con matorral y arbustos asociados (231 24, 25)
11.-Desechos de explotación a tala rasa y áreas intervenidas con restos aislados de bosque en pie. (26)

Clases incombustibles:

12.-Zonas agrícolas de regadío. (29, 30)
13.-Zonas urbanas. (31, 32)
14.-Aguas continentales superficiales (33)
15.-Aguas continentales profundas (34, 35)
16.-Suelos desnudos. (36)

Los ficheros con las variables a estudiar se denominaron TM y SPOT. El primero está integrado por las cuatro bandas del TM (2, 3, 4 ,5), más pendiente (PEND), altitud (ALT), insolación (INST), índice de vegetación de diferencia normalizada compuesto (NDVIC) y textura de la banda TM2 (TEXT). El fichero SPOT, está compuesto por las tres bandas del HRV multiespectral (1, 2 ,3), más altitud (ALT), pendiente (PEND), insolación (INSH), NDVIC y la textura de la banda HRV2 (TEXH).

Sobre estos ficheros, se obtuvieron las clases espectrales con los valores medios para cada muestra, gráficos de medias, desviación estándar y matrices de covarianzas. Conjuntamente, la separabilidad de las clases espectrales se evaluó mediante la distancia de JEFFRIES MATUSITA (JM) y la distancia euclidiana.

El peso discriminatorio de cada variable al conjunto de datos, se obtuvo aplicando análisis factorial discriminante con 221 pixeles, determinados en forma aleatoria en las 16 clases informacionales.

Revisadas y evaluadas las áreas de entrenamiento, se aplicó una clasificación con paralelepípedo y mínima distancia a los ficheros TM y SPOT. Los resultados obtenidos se suavizaron con un filtro de mayoría de 3 x 3 pixeles, con la finalidad de reducir su variabilidad espacial. Para evaluar la influencia del tamaño del filtro sobre los resultados, se ensayó un tamaño de filtro de 2 x 2 pixels, sobre la imagen TM, generándose un tercer archivo denominado TM2.

4.4. Evaluación de la exactitud

El primer paso consistió en definir las muestras para la verificación, que se eligieron de acuerdo a un muestreo

2.- Los números en paréntesis indican las muestras establecidas en terreno.

aleatorio estratificado (CONGALTON, 1988). Sobre una imagen del área de estudio, a escala 1: 25.000, se estratificaron las clases de combustibles, de acuerdo a los trabajos previos de campo (muestras definidas en terreno, antecedentes cartográficos del área). Posteriormente, se eligieron los polígonos más representativos de cada clase.

Del archivo digitalizado se obtuvo en un mapa de polígonos, que se convirtió a formato raster para su comparación con las clasificaciones previamente realizadas (SPOT y TM) y el archivo TM2. Obtuvimos, para cada ensayo, una matriz de confusión, con las respectivas medidas estadísticas de la exactitud. Para la comparación entre matrices, utilizamos el estadístico Kappa (CONGALTON et al., 1983).

4.5. Clasificación final

Considerando los resultados obtenidos en los pasos anteriores, se procedió a en una nueva clasificación, creándose un archivo (TMRE) con las variables que resultaron significativas, de acuerdo al resultado del análisis discriminante, que son las bandas del verde (TM2), rojo (TM3) e infrarrojo cercano (TM4), del Thematic Mapper; la pendiente, el índice vegetacional de diferencia normalizada compuesto (NDVIC) y la insolación. Seguidamente, considerando los resultados de confusión entre clases, se redefinieron las clases de combustibles a 8, y las incombustibles a 4, de la siguiente forma:

1.- Formaciones mixtas de praderas, pastizales y estratos herbáceos no leñosos, en zonas abiertas y/o asociados a estepa de Acacia caven de baja densidad (espinos).
2.- Matorrales y arbustos de baja densidad, con predominancia de especies espinosas y coriáceas.
3.- Matorral esclerófilo arborescente, incluye formaciones mixtas con regeneración de roble.
4.- Formaciones continuas de matorrales y arbustos nativos de quebradas.
5.- Renoval de roble y matorral, con predominancia de arbolado y regeneración subarbórea.
6.- Plantaciones de Pino Insigne, con sotobosque discontinuo de matorral y arbustos.
7.- Plantaciones de Eucaliptus globulus con matorral y arbustos asociados.
8.- Areas intervenidas, en parte con regeneración de matorrales y arbustos bajos poco densos, bosque en pie, y desechos de explotación.

Clases incombustibles:

9.- Zonas agrícolas de regadío.
10.- Zonas o núcleos urbanos.
11.- Aguas continentales.
12.- Suelos desnudos.

La definición de las clases espectrales se realizó a partir del archivo TMRE, manteniéndose las muestras que resultaron fiables y redefiniendo las de mayor confusión.

Seguidamente, se aplicó el clasificador del paralelepipedo y el de mínima distancia. El resultado fue posteriormente generalizado, con el filtro de mayoría de matriz de 2 x 2, obteniéndose de esta manera el mapa final.

Los pasos finales consistieron en la obtención de las superficies de cada clase de combustible y la correspondiente verificación. El muestreo se realizó definiendo en forma aleatoria 3 polígonos por clase, de 16 pixeles de tamaño, con excepción de los casos de pino y eucalipto, que se ampliaron al doble, constituyéndose, de esta manera, una muestra de 672 pixeles.

5. RESULTADOS

5.1. Análisis de las muestras

El análisis de separabilidad de las muestras indicó algunas confusiones, como las existentes entre matorral esclerófilo con arbustos bajos, constituido por especies espinosas y matorral de quebradas, o entre pino joven con pino adulto y eucalipto. Las clases de renovales de roble eran las que presentaban mayor separabilidad. Este resultado se confirma en ambas imágenes, aunque los índices de separabilidad son menores para la imagen SPOT (JM = 1402 versus 1406 en TM).

5.2. Selección de variables

Gracias al análisis discriminante (tablas 1 y 2), pudimos señalar cuáles eran las variables más influyentes para abordar la clasificación final, dado que para efectos de comprobar está selección las clasificaciones preliminares se realizaron con la totalidad de las variables. En el caso de los datos TMS, las primeras cuatro funciones explicaron el 91,81 % de la varianza de los datos. A partir de los coeficientes de estas funciones discriminantes, ordenamos la cantidad de información de cada una de nuestras variables, en orden decreciente, de la siguiente manera: banda TM2, TM3, TM4, NDVIC, Altitud, Insolación, Pendiente, TM y Textura.

En los datos SPOT, a diferencia de los del TM, los primeros cuatro componentes explican el 86,99 % de la variación total. Es decir, en este caso, pudimos abordar una menor reducción de las variables, que resultaron ordenadas de la siguiente forma: HRV1, HRV2, NDVIC, HRV3, Insolación, Pendiente, Altitud y Textura. En ambos casos, la textura resulta ser la variable de menor peso para discriminar entre modelos de combustibles.

TABLA 1
FUNCIONES DISCRIMINANTES DEL ANALISIS FACTORIAL

	Archivo: TM			Archivo: SPOT		
Función	Eingevalue	Porcentaje	Correlación	Eingevalue	Porcentaje	Correlación
1	8,3480480	41,04	0,94500	6,9305131	43,50	0,93483
2	6,48771933	31,89	0,93083	3,3635052	21,11	0,87797
3	2,2872940	11,24	0,83415	2,0054740	12,59	0,81687
4	1,5546702	7,64	0,78010	1,5594084	9,79	0,78057

TABLA 2
COEFICIENTE DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES ESTANDARIZADOS

VAR (TM)	1	2	3	4	VAR (SPOT)	1	2	3	4
TM2	-0.50095	-0.72201	-1.14909	1.14061	HRV1	-0.77687	-0.03397	-0.40155	0.47251
TM3	-0.00760	1.60170	0.33493	-0.95894	HRV2	-0.50767	0.05619	1.21321	0.86926
TM4	1.05195	-0.46337	-0.25375	-0.40693	HRV3	0.88695	-0.94881	-1.15862	-0.95930
TM5	0.27596	0.36062	0.23857	-0.11826	ALT	0.18293	0.67545	0.14092	0.32987
PEND	0.30509	0.31207	0.58161	0.61081	PEND	-0.38808	-0.01135	-0.50678	-0.48664
ALT	-0.01765	-0.24509	0.48288	-0.76977	INSH	0.38481	0.23090	-0.38184	0.55955
INS	0.53701	-0.17049	-0.51685	-0.25158	NDVIC	0.01110	-0.22296	0.10135	0.21114
NDVIC	-0.58045	-0.36666	0.34776	0.20006	TEXH	-0.80899	-0.00383	0.74876	-0.61382
TEXH	-0.03819	-0.5125	-0.12376	0.11912	-	-	-	-	-

5.3. Evaluación de los archivos TM, SPOT y TM2

Los resultados de las tablas de contingencia (tabla 3) y los respectivos mapas resultantes llevan a las siguientes consideraciones y comparaciones: (i) las clases que mantienen una confusión importante en los tres archivos son la clase de matorral esclerófilo arborescente con la clase de matorrales y arbustos con predominio de especies leñosas; (ii) la clase de formaciones continuas de matorral de quebradas con la de pastizales en formaciones de arbustos y matorrales costeros, confusión que se aminora en el archivo TM2; (iii) la clase de plantaciones jóvenes de pino con la de renoval y formaciones de regeneración de roble y (iiii) entre las clases de pino adulto con la de eucalipto. Esta última confusión es menor en los archivos TM y TM2.

Llama la atención la alta confusión que se produce en el archivo SPOT entre las plantaciones de pino adulto con los cuerpos de agua, llegando a desaparecer la clase de aguas continentales profundas. Este problema no es tan evidente en el archivo TM, y no se encuentra en el TM2.

Los mapas elaborados confirman también lo anterior, denotando una mayor coherencia en la definición de las clases como una menor confusión en los archivos TM y TM2.

Gran parte de estas confusiones coinciden con lo que se había analizado previamente, en la separabilidad de las muestras.

Los estadísticos generales confirman la tendencia de las confusiones de los diferentes archivos. Así la fiabilidad del mapa y el índice Kappa, son coincidentes en valorar la clasificación de TM (K=19%, Fm= 51%) con mayor nivel de precisión que la realizada con SPOT (K = 17%, Fm = 40,9%). Asimismo, reflejan la mayor calidad de los resultados entre el TM2 (K = 18%, Fm = 53.4%) y TM, estableciendo la validez de la aplicación del filtro de mayoría con matriz de 2 x 2.

En relación a la exactitud (promedio) de las 16 clases informadas, se aprecian claramente mejores resultados con TM y con TM2. En este último, se mejora la exactitud del productor, respecto de TM, es decir disminuye el porcentaje de pixeles que no se encuentran en la clase que les corresponde.

5.4. Clasificación final

En esta última etapa se procedió a realizar una nueva clasificación considerando las variables seleccionadas y las nuevas clases definidas.

La tabla de contingencia (tabla 4) y el mapa final obtenido, nos indican una notable mejoría de los resultados.

Las confusiones disminuyeron en todas las clases por debajo del 30 %, salvo las clases de pino y eucalipto que tienen un porcentaje cercano al 33 % de confusión.

Los estadísticos generales, tanto la fiabilidad del mapa, como el índice Kappa, se sitúan en niveles similares. Así, por un lado la fiabilidad estimada al 95% de probabilidad se ubica en un rango de 70,9 a 76,5 %, por su parte el índice Kappa, indica que el 71 % de la clasificación obtenida es comparativamente mejor, que la esperada al azar. Los porcentajes promedios de exactitud del mapa, en relación al usuario y al productor, se elevaron considerablemente, resultando ser de 78 y 77,4 %, respectivamente. Estos resultados son la consecuencia de una menor confusión entre las clases, lo que se confirma por el bajo nivel de dispersión del número de pixeles en clases diferentes. En resumen, en relación a las clasificaciones ante-

TABLA 3
RESUMEN DE LOS ESTADÍSTICOS GENERALES DE LAS TABLAS DE CONTINGENCIA DE LOS ARCHIVOS SPOT, TM Y TM2

Mapa	Fac. Kappa	Fiab. del Mapa	Int. de Conf.	Ex. Usuar.	Ex. Prod.
SPOT	17 %	40.9 %	34.3-47.6 %	40.2 %	40.2 %
TM	19 %	51%	44.2-57.8 %	55.2 %	49.2 %
TM2	18 %	53.4 %	46.3-60.1%	50.8 %	52.2 %

riores (SPOT, TM), las confusiones disminuyeron considerablemente y los niveles de fiabilidad del mapa aumentaron, hasta un nivel que puede ser considerado aceptable. Del mapa se obtiene que los combustibles con mayor presencia en el área de estudio corresponden al tipo forestal esclerófilo, con densidades medias a densas; matorrales y arbustos de baja densidad; eucaliptos y pinares. El matorral esclerófilo se encuentra en diferentes estados de composición y estructura. Fundamentalmente está integrado por géneros como Escallonia, Cryptocaria, Psorolea, Quillaja, Peumus, Maitenus, mezclados con arbustos y otros géneros lauriformes. En algunas situaciones, forma parte del estrato subarbóreo del tipo forestal Palma chilena. El matorral ralo, formado principalmente por géneros como Acacia, Podantus, Trevoa, Colliguaya, Berberis, Baccharis, Satureja, y, en menor medida, Peumus y Maitenus. Las plantaciones de pino y eucalipto corresponden a bosques jóvenes y adultos, con doseles cerrados, generalmente sin manejo, lo que favorece la presencia de material muerto en el sotobosque.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo realizado para la consecución de los objetivos inicialmente previstos, permite enunciar las siguientes conclusiones:

1. En el proceso de clasificación resultó ser fundamental el análisis de la separabilidad de las clases espectrales, con la finalidad de redefinir las áreas de entrenamiento y fusionar clases informacionales con respuestas similares, que no pueden separase sin un alto grado de confusión. En está situación se encontraron las clases correspondientes a matorrales bajos costeros, regeneración nativa con matorral, tipo forestal esclerófilo, pinares y eucaliptos.
2. Los resultados obtenidos indican que las clases de combustibles que presentan mayor dificultad para separarlos, sin un alto grado de confusión, son las plantaciones de pinares con las de eucalipto.
3. La evaluación conjunta de los resultados, especialmente los de la separabilidad espectral de las muestras y el análisis discriminante, determinan que las bandas del verde, rojo e infrarrojo cercano tienen el mayor peso para diferenciar las clases de combustibles, a las que se suma el NDVIC, como la variable derivada de mayor aporte, luego la insolación y pendiente. La textura resulta ser la variable con menor aporte discriminatorio.
   La diferencia, entre los dos algoritmos texturales aplicados, no es significativa por cuanto en ambos archivos, el análisis discriminante, no varía la posición de la textura. Sin embargo, al graficar los valores medios,

TABLA Nº 6
CLASIFICACIÓN FINAL
TABLA DE CONTINGENCIA (Filas = TMRE; Columnas = Muestras de Verificación

CLASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL	EXU	EU
1	39	0	6	1	0	0	0	0	0	1	0	1	48	82.2	17.8
2	5	36	0	8	2	0	0	5	0	9	0	0	65	55.4	44.6
3	2	5	40	9	5	8	8	0	0	0	0	0	77	51.9	48.1
4	0	0	0	24	0	2	10	0	5	0	0	0	41	58.5	41.5
5	0	0	0	0	41	4	2	0	0	0	0	0	47	87.2	12.8
6	1	6	0	2	0	51	30	0	0	0	0	0	90	56.7	43.3
7	0	0	2	1	0	31	46	0	0	0	0	0	80	57.5	42.5
8	0	1	0	3	0	0	0	43	0	0	0	1	48	89.6	10.4
9	1	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	44	97.7	2.7
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	38	100.0	0.0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	48	100.0	0.0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	46	100.0	0.0
TOT.	48	48	48	48	48	96	96	48	48	48	48	48	672		
EXP.	81.3	75.0	83.3	50.0	85.4	53.2	47.9	89.6	89.6	77.1	100.0	95.8			
EP.	18.7	25.0	16.7	50.0	14.6	46.8	52.1	10.4	10.4	22.9	0.0	4.2			

Los errores (Ep. Eu) y la exactitud (Exp, Exu), se expresan en %

Estadísticos generales:

Factor Kappa = 71%
Fiabilidad del mapa = 73.7%
Intervalo de confianza (IC) = (70.9 - 76.5%)

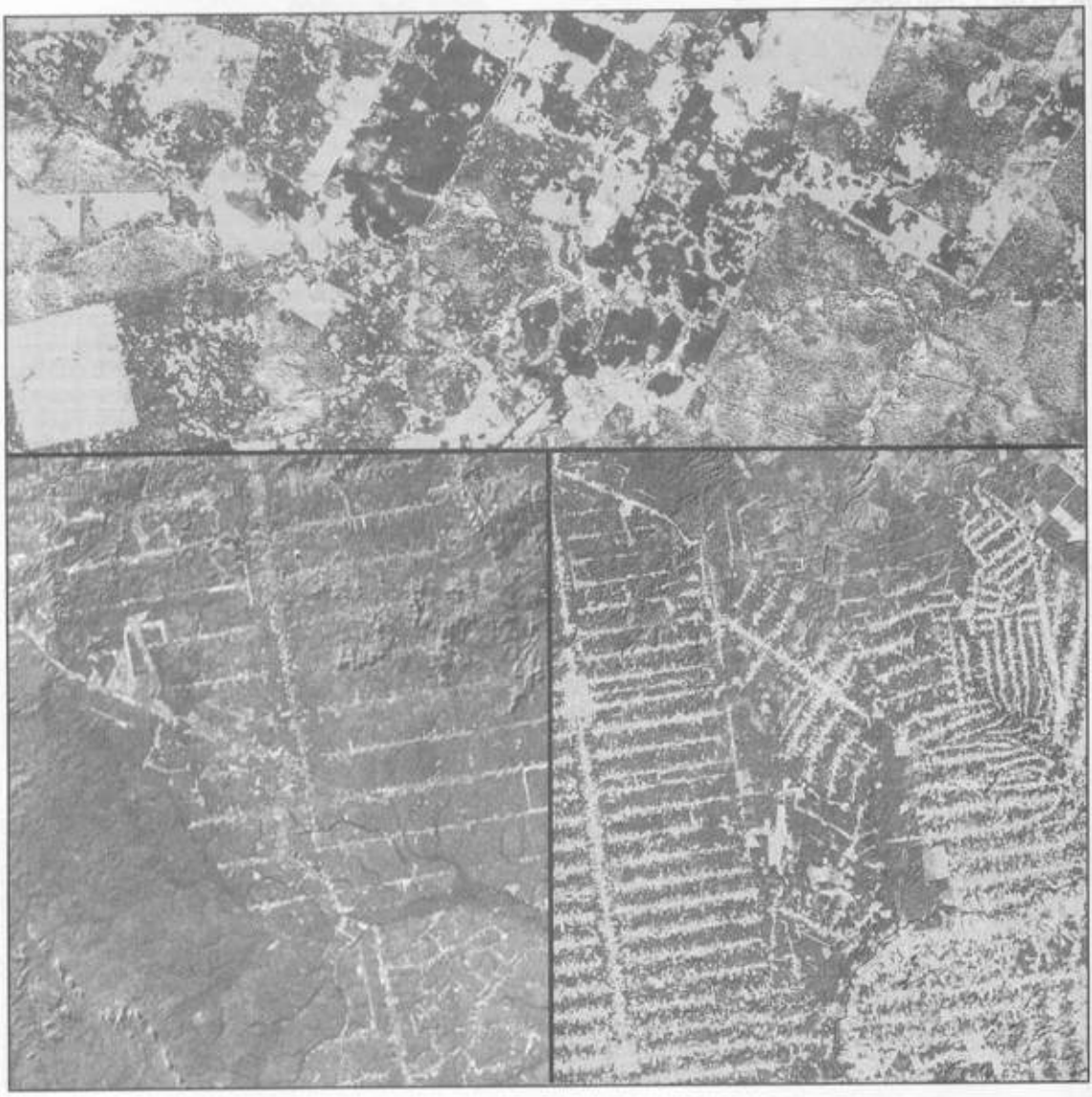
El cuadro muestra los aciertos y errores de las clases de combustibles, que se encuentran señaladas en la primera columna (CLASES) con números del 1 al 12, en correpondencia con las definidas anteriormente en el texto (4.5).

más menos una desviación estándar, la textura obtenida a partir de la varianza, otorga a las muestras mayor separabilidad espectral entre ellas.

4. Respecto de la comparación entre las dos imágenes (TM y HRV), los datos del TM ofrecen mejores resultados cartográficos y con mayor fiabilidad, lo que valida, contrariamente a lo que se podría suponer, la fecha de toma (invierno), resultando adecuada para realizar la cartografía de combustibles. Esta fecha, es que permite incorporar los cambios que se producen en los combustibles, en la temporada de explotación anterior, y otorga el tiempo suficiente para disponer de la información de manera oportuna en la temporada de incendios siguiente.
5. En relación a la homogeneización de la representación cartográfica final, mediante la aplicación del filtro de mayoría, se determinó que una matriz de 2 x 2 es suficiente para lograr el objetivo, mejorando los resultados de superficies, si se comparan con una de 3 x 3.
6. El resultado final obtenido, en la clasificación de las ocho clases de combustibles y cuatro incombustibles, tanto por la mapificación, como por la evaluación estadística (70.9 - 76.5 % de fiabilidad) se encuentran dentro del rango de bueno (YOOL et al. 1985). Resultados similares se encuentran reportados por otros autores, en clasificaciones digitales de coberturas del suelo, por ejemplo: 64 % para 10 clases (PEDLEY y CURRAN, 1991), 70 % para 8 clases (VERDIN et al, 1988).

En consecuencia, la clasificación digital de los combustibles resulta adecuada, pero precisa de un buen control de terreno, y de una elección adecuada de las variables más relevantes, para conseguir mejores resultados. La continuación del trabajo intentará mejorar la fiabilidad, incluyendo algunas de las variables auxiliares en forma posterior a la clasificación, así como aumentar las muestras de terreno.

Los resultados obtenidos en esta primera etapa y la metodología determinada permiten apoyar estas aplicaciones.



En consecuencia, la clasificación digital de los combustibles resulta adecuada, pero precisa de un buen control de terreno, y de una elección adecuada de las variables más relevantes, para conseguir mejores resultados. La continuación del trabajo intentará mejorar la fiabilidad, incluyendo algunas de las variables auxiliares en forma posterior a la clasificación, así como aumentar las muestras de terreno.

Los resultados obtenidos en esta primera etapa y la metodología determinada permiten apoyar estas aplicaciones.

REFERENCIAS

BURGAN, R. E. y ROTHERMEL, R. C. (1984): **BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System.** *Fuel Subsystem, U.S. Department of Agriculture National Association of State Foresters, Ogden UT.*

BURGAN, R. E. y SHASBY, M. B. (1984): **Mapping broad-area fire potential from digital fuel, terrain, and weather data,** *Journal of Forestry, vol. 82, pp. 228-231.*

CALABRI, G. y CIESLA, W. M. (1992), **Global Wildland Fire Statistics, Food and Agriculture Organization,** *Roma.*

CHUVIECO, E. (1992): **Remote Sensing Applications in Forest Fires,** *en E.E.C. Course on Forest Fires and Management, Commission of the European Communities, Bruselas, en prensa.*

CIHLAR, J., ST-LAURENT, L. y DYER, A. (1991): **Relation Between the Normalized Difference Vegetation Index and Ecological Variables,** *Remote Sensing of Environment, vol. 35, pp. 279-298.*

CONGALTON, R. G. (1988): **A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data,** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, pp. 593-600.*

CONGALTON, R. G., ODERWALD, R. G. y MEAD, R. A. (1983): **Assessing LANDSAT classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques,** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 49, pp. 1671-1678.*

COSENTINO, M. (1977): **Fuel Mapping in Relation to the Management of Brushlands and Timberlands in Mendocino County, California,** *Space Sciences Laboratory, Berkeley.*

CURRAN, P. J., DUNCAN, J. L. y GHOLZ, H. L. (1992): **Seasonal LAI in Slash Pine Estimated with LANDSAT TM,** *Remote Sensing of Environment, vol. 39, pp. 3-13.*

CURRAN, P. (1980): **Remote Sensing systems for monitoring crops and vegetation,** *Progress in Physical Geography, vol. 4, pp. 315-341.*

DIXON, R. SHIPLEY, W., BRIGGS, A. (1984): LANDSAT - **A Tool for Mapping Fuel Types in the Boreal Forest of Manitoba.** *A pilot study, Winnipeg, Manitoba.*

EASTMAN, R. E. (1992): **IDRISI users'guide,** *Worcester, Clark University.*

ERDAS, (1991): **Image Processing Module.** *Vers. 7.4, Atlanta.*

HALTENHOFF, H. (1990): **¿Porqué es Importante Preocuparse de los Incendios Forestales?,** *Corporación Nacional Forestal. Doc. Interno 5 p., Santiago, Chile.*

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. (1985): **Geografía de los Climas,** *IGM. Colección Geográfica de Chile, Santiago.*

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS. (1989): **Censo Nacional.** *Boletín Oficial.*

JULIO, G. A. (1987): **Clasificación Preliminar de Modelos de Combustibles Forestales,** *Univ. Austral de Chile, Fac. de Ciencias Forestales, Valdivia.*

KOURTZ, P. H. (1977): **An application of LANDSAT digital technology to forest fire fuel type mapping,** *en Proc. 11th Inter. Symp. on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, pp. 1111-1115.*

MCKINLEY, R. A., CHINE, E. P. y WERTH, L. F. (1985): **Operational fire fuels mapping with NOAA-AVHRR data,** *en Pecora X Symposium, Fort Collins, pp. 295-304.*

MILLER, W. y JOHNSTON, D. (1985): **Comparison of fire fuel maps produced using MSS and AVHRR data,** *en Pecora X Symposium, Fort Collins, pp. 305-314.*

MILLER, W. A., HOWARD, S. M. y MOORE, O. G. (1986): **Use of AVHRR data in an Information System for fire management in the Western United States,** *en 20th Intern. Symp. on Remote Sensing of Environment, Nairobi, pp. 67-79.*

MURPHY, D. L. (1985): **Estimating Neighborhood Variability, with a Bynary Comparison Matrix.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 51, pp. 667-674.*

PEDLEY, M. y CURRAN, P. (1991): **Per-Field Classification: and Example Using SPOT-HRV Imagery,** *Int. J. Remote Sensing, vol. 12, pp. 2181-2192.*

RAHII, H. A. (1979): **An Investigation of the Utility of LANDSAT-2 MSS Data to the Fire-Danger Rating Area, and Forest Fuel Analysis within Crater Lake National Park Oregon,** *Oregon State University, Ph. D. dissertation.*

ROOT, R. R., STITT, S. C. F., NYQUIST, M. O., WAGGONER, G. S. y AGEE, J. K (1986): **Vegetation and fire fuel models mapping of North Cascades National Park,** *ACSM-ASPRS Annual Convention. Tech. Papers, vol. 3, pp. 78-85.*

SALAZAR, L. A. (1982): **Remote Sensing Techniques Aid in Preattack Planning for Fire Management,** *Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley.*

SHASBY, M. B., BURGAN, R. R. y JOHNSON, R. R. (1981): **Broad area forest fuels and topography mapping using digital LANDSAT and terrain data,** *en Proc. 7th Inter. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data, West Lafayette, pp. 529-537.*

STRAHLER, A. H., LOGAN, T. y WOODCOCK, C. (1979): **Forest Classification and Inventory System Using LANDSAT Digital Terrain, and Ground Sample Data,** *Proc. Thirteenth International Symp. on Remote Sensing of Environment Arn Arbor, Michigan, pp. 1541-1557.*

VAN WYNGAARDEN, R. y DIXON, R. (1989): **Application of GIS to model forest fire rate of spread,** *Tydac Techn., Ottawa.*

VERDIN, J. P., ECKHARDT, D. W. y LYFORD, G. R. (1988): **Evaluation of SPOT Imagery for Monitoring Irrigated Lands SPOT 1 Image. Utilization Assessment, Results,** *Centro National D' Etudes Spatiales. Cepadues Ed. pp 81-91, Toulouse.*

WERTH, L. F., MCKINLEY, R. A. y CHINE, E. P. (1985): **The use of wildland fire fuel maps produced with NOAA-AVHRR scanner data,** *en Pecora X Symposium, Fort Collins, pp. 326-331.*

YOOL, S. R., ECKHARDT, D. W., ESTES, J. E. y COSENTINO, M. J. (1985): **Describing the brushfire hazard in southern California,** *Annals of the Association of American Geographers, vol. 75, pp. 417-430.*

APLICACION DE S.I.G. Y PERCEPCION REMOTA EN LA IDENTIFICACION DE AREAS DE RIESGOS NATURALES EN LA CIUDAD DE ARICA

Patricio Zavala O., Alejandro Tapia T., Alfonso Díaz A.
Programa S.I.G. y Percepción Remota
Depto. Antropología, Geografía e Historia. Universidad de Tarapacá
18 de Septiembre 2222 - Fax (56.58) 241773
Arica, Chile

Resumen

En la Primera Región de Tarapacá, se desarrolla una intensa actividad sísmica y tectónica, lo que tiene como consecuencia la existencia de un alto grado de riesgo sísmico en la zona y de tsunamis en las ciudades costeras, las que albergan el grueso de la población de la región. En el caso específico de Arica, ésta ha sido impactada en reiteradas ocasiones por estos fenómenos, de los cuales existen documentos históricos de las zonas afectadas, así como de los estragos que se originaron al interior de la urbe. A lo anterior deben sumarse la presencia de aluviones, asociados a las crecidas estivales del río San José.

Sin embargo, a pesar de la situación señalada, no se han considerado, tanto en los planes reguladores, como en la confección de los planes de desarrollo intraurbano, la presencia de estos tipos de riesgos naturales, lo que sumado al aumento de la población de la ciudad en los últimos 40 años, y la ocupación con edificios de departamentos del sector norte de la ciudad, el que posee cotas inferiores al nivel del mar, permiten comprender la urgente necesidad de establecer las áreas de la ciudad que presentan un mayor grado de riesgo ante los fenómenos señalados con anterioridad. El presente trabajo se apoya en resultados finales obtenidos en proyectos de investigación, así como en otros preliminares que se encuentran en desarrollo por los autores.

INTRODUCCION

De acuerdo a lo señalado por el Instituto Geográfico Militar, (I.G.M., 1985) en la Primera Región de Tarapacá los riesgos naturales se pueden clasificar en: Aluviones, Sismos y Tsunamis o maremotos. Existen antecedentes históricos que permiten ratificar la presencia de estos fenómenos en la zona: "Desde 1513, Arica ha experimentado varios terremotos destructivos de magnitud 7.5 a 8.5, algunos de ellos acompañados de grandes tsunamis". (Monge, 1990). En los años 1868 y 1877 la costa norte de nuestro país se vió afectada por la presencia de dos maremotos, los que originaron cuantiosos estragos en la zona, y especialmente en la ciudad de Arica.

En el caso específico de la sismicidad, los investigadores han llamado la atención en el sentido que "es muy significativo el hecho de que la actividad sísmica a niveles superficiales, es decir menos de 33 kms., sea muy baja en los últimos 100 años" (Duda, 1963), lo que indicaría la factibilidad de ocurrencia de un gran sismo en la zona, por lo mismo "cabe hacer notar que dicho sismo sería de carácter superficial y su ubicación más probable es en el mar, existiendo, entonces, la posibilidad de ocurrencia de un maremoto o tsunami, de acuerdo a la magnitud del sismo que se produzca". (Lorca, 1979)

A pesar de la situación señalada anteriormente, no se han llevado a cabo tareas concretas destinadas a la prevención de los efectos que producirían en la ciudad, fenómenos naturales como los indicados. Más aún, cuando el sector norte de la ciudad sigue domesticándose poblacionalmente a través del aumento de la construcción de edificios de departamentos que albergan una gran masa poblacional, lo que se hace sin tener en consideración la prohibición de construir en zonas bajas, que data desde el año 1991.*

Teniendo en consideración, lo descrito con anterioridad, y con la finalidad de valorizar el aporte de los S.I.G. y la tecnología aeroespacial, para el estudio de fenómenos como los señalados, se hizo uso de información obtenida por sensores remotos, tales como ortofotocartas 1:5.000 con proyección U.T.M., vuelos verticales multitemporales e imagen SPOT de la ciudad, lo que permitió acceder a información básica, no disponible para el conocimiento, tanto de las características naturales e infraestructura urbana de las áreas probables de ser afectadas por riesgos naturales, así como para la comprensión del proceso de desarrollo areal que ha sufrido la ciudad por efectos de su crecimiento acelerado, como son, por ejemplo, curvas de nivel, pendientes, ancho de las calles, tipos de construcción, planos multitemporales, etc.

El procesamiento de la información obtenida por percepción remota, fue especializada mediante la aplicación de los sistemas de información geográfica MAP e IDRISI, dando como resultado la identificación del modelo de expansión areal de la ciudad, el que refleja la marcada tendencia del crecimiento de Arica, hacia el sector norte de la planicie litoral que ocupa, debido al obstáculo que presentan para un crecimiento de tipo concéntrico, los escarpados relieves de las líneas de cerros del Morro, y Chuño.

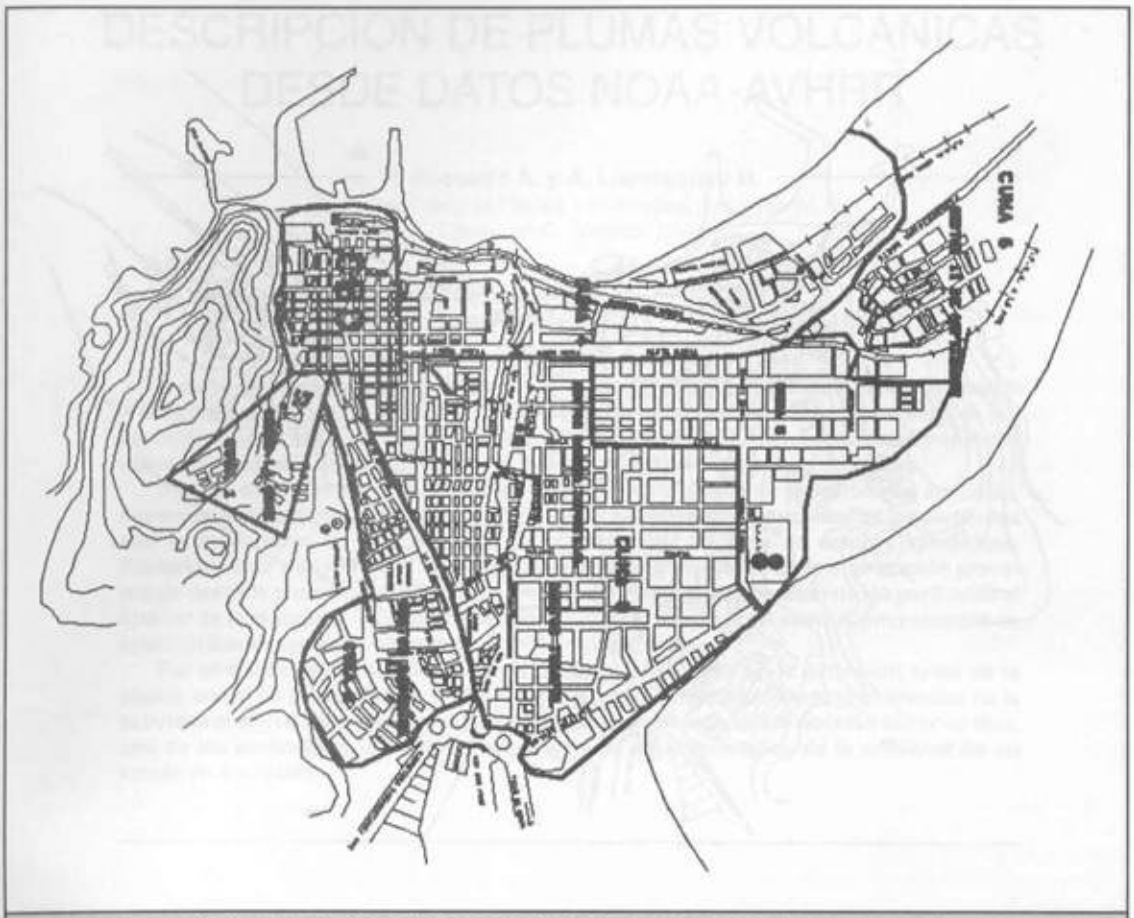


FIG. 1.- CARTA: MODELO DE EXPANSION AREAL DE LA CIUDAD DE ARICA

IDENTIFICACION DEL MODELO DE EXPANSION AREAL DE LA CIUDAD DE ARICA:

Para llevar a cabo la identificación del modelo de expansión areal, se procesaron dos pares estereoscópicos verticales de la ciudad de Arica, de los años 1956 y 1965, autocorrelacionándolos y correlacionándolos con la información obtenida del procesamiento de una ortofotocarta del año 1992, con protección U.T.M 1:5.000, para lo que se utilizaron S.I.G. IDRISI y S.I.G. MAP.

De lo anterior, se obtuvieron polígonos multitemporales, que fueron afinados a través de la técnica poligonal de Voronoi.

El modelo geométrico resultante, fue analizado a la luz de los modelos clásicos de la Ecología Humana, coincidiendo éste con el modelo de usos residenciales del suelo, propuesto por H. Hoyt el año 1939, tanto en términos geométricos como de causales de evolución y expansión intraurbana, lo que se refleja claramente en la cartografía generada.

IDENTIFICACION DEL AREA SUSCEPTIBLE DE SER AFECTADA POR UN TSUNAMI EN LA CIUDAD DE ARICA.

Para alcanzar el objetivo trazado, en el sentido de reconocer en la Bahía de Arica el efecto catastrófico originado por la acción de un tsunami y establecer el área de acción directa del mismo, fue necesario hacer uso de la información proporcionada por la carta batimétrica del sector litoral ariqueño, así como de la documentación histórica referente a la sismicidad de la zona y a los efectos en la ciudad de los principales tsunamis ocurridos en los años 1868 y 1877.

La información colectada fue procesada y especializada mediante la aplicación del Sistema de Información Geográfica MAP, que permitió delimitar con claridad el área susceptible de ser afectada por un tsunami originado a partir de un sismo superficial ocurrido en el sector marino, de una magnitud 8 en la escala de Richter, generándose los siguientes planos de información: batimetría de la bahía, curvas de nivel de la planicie litoral en que se asienta la ciudad, carta de densidades poblacionales calculadas por Juntas de Vecinos.

Los planos de información obtenidos fueron superpuestos, estableciéndose el alcance exacto de la ola, y las juntas vecinales afectadas, así como el número de habitantes comprometidos ante la eventual ocurrencia de un maremoto.

Las juntas vecinales más expuestas ante la presencia de un tsunami son las números 38, 39, 41, 43, 48, 49, 65 y 29.

Por las características naturales que presenta la bahía de Arica, principalmente en su sector norte, en cuanto a la débil pendiente que en ella se manifiesta y lo abierta hacia el noroeste, se constituye en la principal área de riesgo de la ciudad, ante la ocurrencia de un evento del tipo señala-

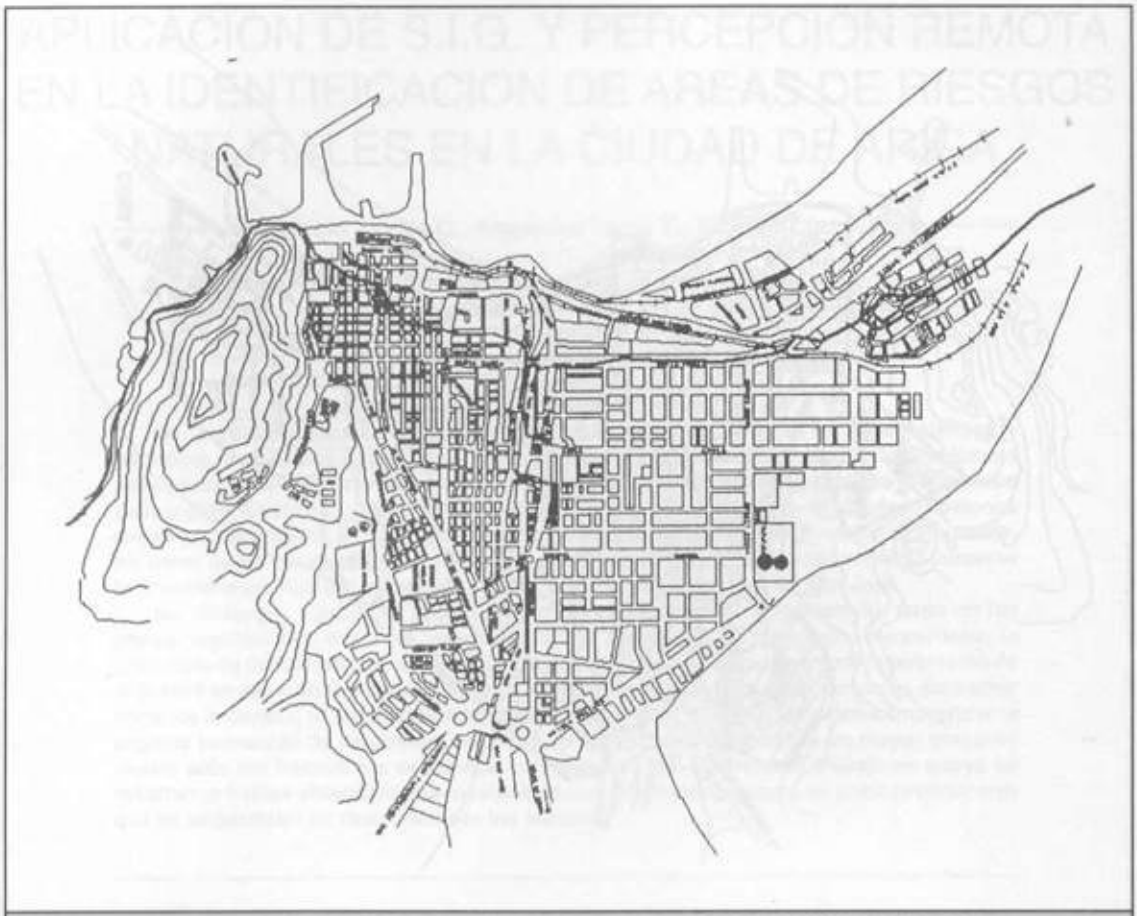


FIG. 2.- CARTA GENERADA SIN CONSIDERAR INDICES DE RESISTENCIA DE LAS CONSTRUCCIONES CERCANAS A LA LINEA DE COSTA

do anteriormente. A esto se suman antecedentes de orden histórico que demuestran fehacientemente que el sector norte se ha constituído en el pasado en el área más afectada por los distintos maremotos documentados.

ALCANCE DE LA OLA DE UN TSUNAMI EN LA CIUDAD DE ARICA, GENERADO POR UN SISMO DE MAGNITUD 8 GRADOS

CONCLUSIONES

El resultado de los trabajos atingentes, tanto al reconocimiento del área susceptible de ser afectada por un maremoto o tsunami, como el referente al crecimiento del área residencial de la ciudad, coinciden en establecer que el sector norte, que se ha transformado en el último tiempo en el área de expansión natural de la ciudad, se constituye, al mismo tiempo, en el sector urbano de mayor riesgo ante la eventualidad de un evento catastrófico, como el descrito en forma precedente.

En el caso de los aluviones, la ciudad de Arica ha sido afectada, en no pocas ocasiones, por este tipo de fenómenos, sin embargo, no existen estudios relativos al tema, razón por la que el equipo que conforma el Programa S.I.G. y Percepción Remota de la Universidad de Tarapacá, se encuentra abocado en la generación de información básica que permita realizar trabajos aplicados a éste tipo de fenómenos en nuestra zona.

BIBLIOGRAFIA

*I.G.M. 1985 - **Geografía Primera Región de Tarapacá.** Primera Edición.*

*I.H.A. 1982 - **Maremotos en la Costa de Chile.** Publicación 3016. Primera Edición.*

*LORCA, EMILIO. 1979 - **Sismicidad del Extremo Norte de Chile.** Universidad del Norte.*

*ZAVALA, PATRICIO. 1991 - **Detección de los efectos de un tsunami en la Bahía de Arica, Aplicando Tecnología S.I.G.** Proceeding. Pontificia Universidad Católica de Chile.*

*ZAVALA, PATRICIO. 1992 - **Generación de cartas de estimación de alcance de un tsunami en la ciudad de Arica.** - Actas Primer Simposio de SIG y Sensores Remotos aplicados en las catástrofes naturales. Bogotá, Colombia.*

*ZAVALA, TAPIA. 1991 - **Previsión de los efectos de un tsunami en la ciudad de Arica.** Actas Primer Congreso de Ciencias de la Tierra.*

DESCRIPCION DE PLUMAS VOLCANICAS DESDE DATOS NOAA-AVHRR

P. Acevedo A. y A. Llancaqueo H.
Depto. de Ciencias Fisicas, Universidad de La Frontera
Casilla 54-D, Temuco, Chile

Resumen

A partir de la información captada por el sensor AVHRR del satélite NOAA, en la banda 4 del infrarrojo termal, se propone una descripción multitemporal de la pluma emitida por el volcán Lonquimay durante su última erupción (1988-89). Para esto, se procesan y analizan cuarenta imágenes correspondientes a los dos primeros meses de la erupción.

A partir de las formas y extensiones que alcanzó la pluma en el período en análisis y suponiendo características de tipo homogéneas para el tamaño y densidad de las partículas que la conforman, se describe la zona afectada por la lluvia de cenizas volcánicas. Posteriormente y basados en la presencia de inhomogeneidades de la información proveniente desde la pluma, se propone una descripción para la distribución de las partículas al interior de la pluma y su efecto en la deposición de la ceniza en el suelo. Como ejemplo se analizan dos imágenes, comparando ambas situaciones.

Por otro lado, se determinan las variaciones temporales en la extensión areal de la pluma, con el fin de establecer una metodología para la descripción de la intensidad de la actividad eruptiva. Los resultados presentan alta correlación con la emisión diaria de lava, uno de los parámetros utilizados frecuentemente en el monitoreo de la actividad de un volcán en erupción.

INTRODUCCION

Durante una erupción volcánica se liberan al ambiente grandes cantidades de material en forma de lava, roca, material particulado y gases. De estos productos, las emisiones de material particulado constituye uno de los elementos potencialmente más peligrosos durante una erupción volcánica, tanto por el riesgo para la respiración de seres humanos y animales, como por las grandes alteraciones que su deposición produce en las zonas cercanas al volcán. En ocasiones, el efecto de la lluvia de ceniza desde las plumas volcánicas puede llegar a distancias de cientos de kilómetros.

En Chile, las recientes erupciones de los volcanes Lonquimay (1988), Hudson (1991), Lascar (1993) y LLaima (1994), han puesto de manifiesto el potencial destructivo que encierran los volcanes. Se estima que durante la erupción del volcán Lonquimay, iniciada en diciembre de 1988, se vieron afectadas más de cincuenta mil hectáreas de bosques y praderas, y unas diez mil personas sufrieron alteraciones de algún tipo en su salud, debido tanto al material particulado en suspensión como al depositado en el suelo (GONZALEZ-FERRAN et al., 1989). Durante la erupción del volcán Hudson, en 1991, la zona afectada por la pluma superó los 30.000 km². La pluma del volcán Lascar, en la erupción de 1993, llegó a las costas orientales del continente.

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones tendientes a describir aspectos volcánicos desde información multiespectral captada por satélites.

En el caso de volcanes aislados o de muy difícil acceso, los datos de satélite adquieren gran relevancia (Francis and Rothery, 1987; Glaze et al., 1990), pudiendo ser la única fuente de información, o de aviso temprano, de posible actividad.

El presente trabajo propone metodologías para el seguimiento de plumas generadas en erupciones volcánicas mediante métodos de percepción remota con imágenes de satélite NOAA. La aplicación se realiza a la erupción del volcán Lonquimay del año 1988-89.

LA ERUPCION DEL VOLCAN LONQUIMAY (1988-89)

Después de un período de inactividad de cien años, el 25 de diciembre de 1988, se inicia un nuevo ciclo eruptivo en el volcán Lonquimay (38.4°S - 71.6°W), formándose un nuevo cráter en el flanco noreste del edificio principal de dicho volcán. La erupción se caracterizó con una primera fase de tipo freatomagmática de ruptura, le siguieron una fase efusiva, otra de descompresión y finalmente una de estabilidad eruptiva (GONZALEZ-FERRAN et al., 1989).

La erupción se caracterizó por la presencia de una columna de tefra y gases, la que al ser desgarrada, por efecto del viento, formó una pluma que se extendió horizontalmente, alcanzando en los momentos de mayor actividad del volcán distancias de cientos de kilómetros (Fig.1).

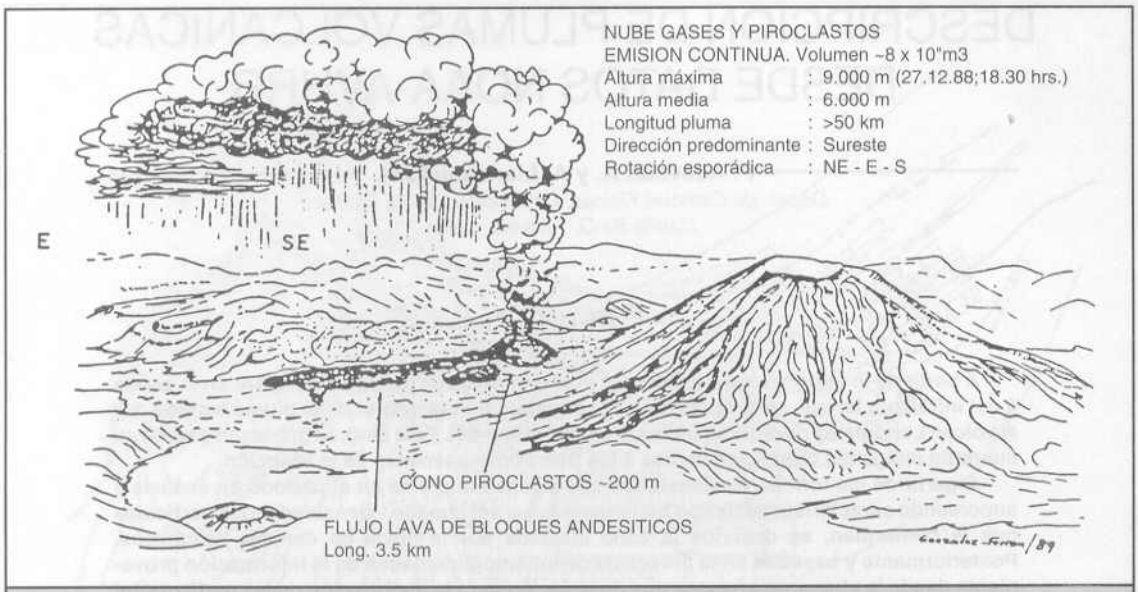


FIG.1. BOSQUEJO DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA PLUMA DEL VOLCÁN LONQUIMAY, EL 07 DE ENERO DE 1989, (MODIFICADO DESDE GONZÁLEZ-FERRÁN ET AL., 1989)

DESCRIPCION DE LA PLUMA CON IMAGENES DE SATELITE NOAA

Considerando la resolución espacial del radiómetro AVHRR, el número de pixeles que definen la pluma y una corrección por efecto de la curvatura terrestre, se determina en cada una de las imágenes la extensión areal de la pluma.

Se presenta una descripción multitemporal de la pluma del volcán Lonquimay, basada en el análisis de cuarenta imágenes correspondientes al período de mayor actividad de la erupción, desde su inicio hasta el 25 de febrero de 1989. Para el reconocimiento de la pluma se utilizaron las bandas uno (0.58 a 0.68 um) y cuatro (10.3 a 11.3 um) del sensor AVHRR. Una vez identificada y delimitada la pluma en las diferentes imágenes, se realizó un ajuste geográfico y después se determinó su extensión areal (Tabla 1).

TABLA 1.- EXTENSION AREAL DE LA PLUMA DEL VOLCAN LONQUIMAY

Fecha	Area de la pluma (km²)
27/12/88	580
29/12/88	850
04/01/89	620
26/01/89	230
25/02/89	180
17/03/89	200

Considerando las diferentes formas que presentó la pluma durante el desarrollo de la erupción (Fig. 2) y suponiéndola formada por partículas de igual tamaño y distribuidas de manera homogénea sin dependencia de su distancia al foco emisor, se describe la zona afectada por la lluvia de cenizas mediante una superposición de las imágenes (Fig. 3).

Las imágenes de la pluma en las bandas del infrarrojo termal, permiten observar en el interior de ella la presencia de sectores cerrados con valores similares de radiancia (Fig. 4). Una explicación tentativa para este fenómeno observado, es

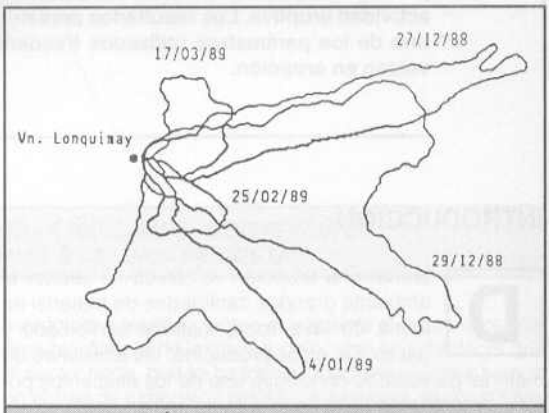


FIG. 2. DISPOSICIÓN ESPACIAL DE LA PLUMA, EN DIFERENTES MOMENTOS, DE LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN LONQUIMAY.

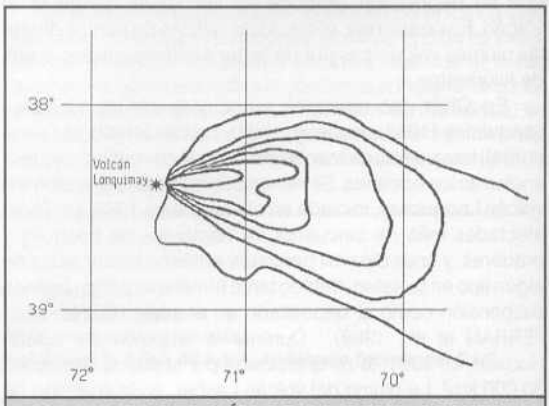


FIG. 3. DELIMITACIÓN DE LA ZONA AFECTADA POR LA LLUVIA DE CENIZAS, INFERIDA A PARTIR DE LAS DIFERENTES DISPOSICIONES ESPACIALES DE LA PLUMA ENTRE EL 25/12/88 Y 25/02/89.

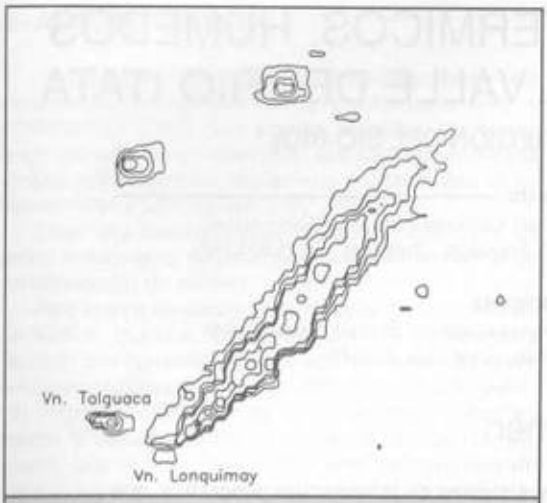


FIG. 4. PRESENCIA DE BOLSONES EN EL INTERIOR DE LA PLUMA (27/12/1988). LAS LÍNEAS REPRESENTAN IGUAL VALOR PIXEL INTERPOLADO.

la presencia de bolsones más densos de material particulado, relacionados con las explosiones rítmicas generadas en el cráter. A partir de esta información, se propone una nueva descripción para la distribución de la deposición de ceniza en el suelo, basada en el supuesto que mientras mayor sea la densidad de las partículas en la pluma, también mayor será la lluvia de ceniza sobre el suelo. Se presenta un ejemplo que compara ambas situaciones en base al análisis de dos imágenes (Fig. 5).

CONCLUSIONES

Se proponen metodologías que permiten la descripción de erupciones volcánicas en base al análisis e interpretación de los valores de radiancia medidos por el radiómetro AVHRR del satélite NOAA provenientes de la pluma, generada durante el desarrollo de este tipo de fenómenos volcánicos.

Los resultados obtenidos en la determinación de la extensión areal de la pluma, indican que es posible usar este parámetro como un estimador del grado de actividad que presenta un volcán en erupción.

Las variaciones temporales del área de la pluma concuerdan con las presentadas por la tasa de emisión de lava (Moreno y Gardeweg, 1989), normalmente usada como indicador del grado de actividad eruptiva (Fig. 6).

La superposición de las diferentes imágenes de la pluma permiten delimitar la zona afectada por la caída de ceniza, permitiendo realizar un análisis espacio-temporal de este fenómeno. Esta información puede ser útil en la toma de decisiones durante el desarrollo de una erupción.

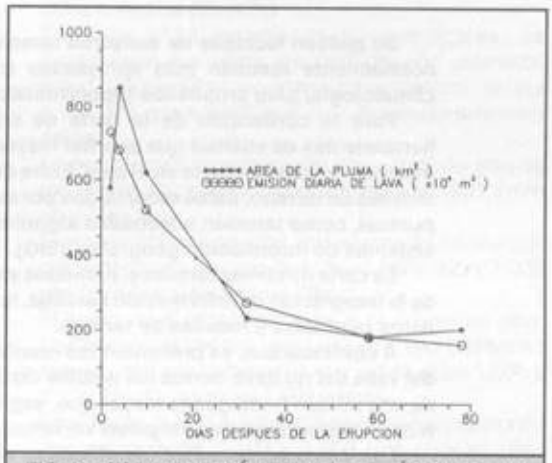


FIG. 6. COMPARACIÓN ENTRE EL ÁREA DE LA PLUMA Y LA TASA DE EMISIÓN DIARIA DE LAVA.

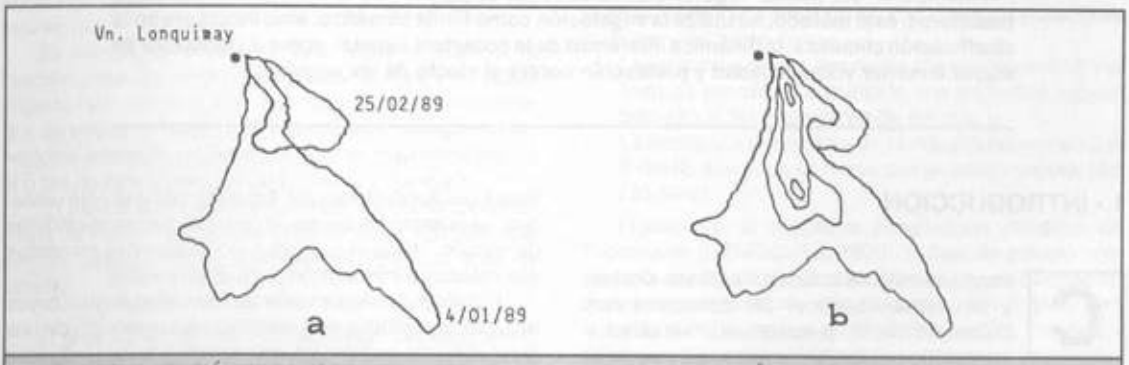


FIG. 5. COMPARACIÓN EN LA FORMA DE LAS CURVAS DE IGUAL DEPOSITACIÓN DE CENIZAS, PARA UNA PLUMA CON UNA DISTRIBUCIÓN HOMOGÉNEA (A) Y NO HOMOGÉNEA (B), DE LAS PARTÍCULAS EN SU INTERIOR.

REFERENCIAS

FRANCIS, P. and ROTHERY, 1987. **Using the LANDSAT Thematic Mapper to detect and monitor active volcanoes: an example from Lacar volcano, north Chile.** Geology 15: 614-616.

GONZALEZ-FERRAN, O., P. BAKER, y P. ACEVEDO, 1989. **La erupción del volcán Lonquimay 1988 y su impacto en el medio ambiente: Chile.** Revista Geofísica, Instituto Panamericano de Historia y Geografía, México, 31, 39-107.

MORENO, H. y M. GARDEWEG, 1989. **La erupción reciente en el complejo volcánico Lonquimay (diciembre 1988-), Andes del Sur.** Revista Geológica de Chile, Vol. 16, Nº 1, 93-117.

El presente trabajo es parte del Proyecto Nº 9443 de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad de La Frontera.

LA CARTA DE CLIMAS TERMICOS, HUMEDOS Y DE VENTILACION DEL VALLE DEL RIO ITATA

(SECANO COSTERO, VIII REGION DEL BIO-BIO).*

Mónica Ihl

Centro de Estudios Espaciales, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Av. Arturo Prat 1171, Santiago, Chile. Fax (56.2) 5553371.

Marta Henríquez

Departamento de Historia y Geografía, Universidad del Bío-Bío, Sede Chillán, 18 de Septiembre 580, Chillán, Chile. Fax 223349.

Resumen

Se aplican técnicas de sensores remotos y sistemas de información geográfica, que normalmente resultan más apropiados que los métodos tradicionales empleados en climatología, para propósitos topoclimáticos.

Para la confección de la carta de climas locales, se requiere de instrumental y herramientas de análisis que aportan mayor información espacial que la red de estaciones meteorológicas existente en el país. Entre éstas, se cuentan imágenes termales, transectas móviles de terreno, datos recopilados por estaciones climáticas automáticas e información puntual, como también adecuados algoritmos de interpolación espacial, que proveen los sistemas de información geográfica (SIG).

La carta de climas térmicos, húmedos y de ventilación es, en consecuencia, el resultado de la integración de información satelital, información topográfica, estadísticas climáticas, datos puntuales y móviles de terreno.

A continuación, se presentan los resultados preliminares de la carta de climas locales del valle del río Itata, donde fue posible distinguir seis subtipos climáticos termales dentro de una unidad homogénea mayor que, según Thornwaite, corresponden a un tipo de clima húmedo mesotermal, con algunas variantes en la duración del período seco y déficit hídrico.

Los patrones termales identificados en las imágenes de satélite, fueron un criterio determinante para la diferenciación areal, aún cuando fue considerado también el rol climático del relieve, que resulta fundamental, y la vegetación, mediante un monitoreo multitemporal del índice vegetal normalizado. A diferencia de la cartografía climática tradicional, éste método, no utiliza la vegetación como límite climático, sino incorpora en la clasificación climática, la dinámica interanual de la cobertura vegetal, como un indicador de mayor o menor vulnerabilidad y protección contra el efecto de las sequías.

1.- INTRODUCCION

Cuando se trata de estudios de climas locales, y se desean conocer las características distintivas de la temperatura, humedad y vientos, de una región de secano, como es el caso del valle del río Itata y sus interfluvios, la red de estaciones climáticas existente en el país, aporta escasos antecedentes para la diferenciación areal, siendo útil sólo para estudios de cambios globales, diferencias estacionales o variaciones interanuales (Véase por ejemplo IHL y HENRIQUEZ, 1993).

Para los propósitos topoclimatológicos se requiere, en consecuencia, utilizar otras herramientas y metodologías de análisis que aportan mayor información espacial y mayor resolución temporal. Entre las técnicas más utilizadas, se cuentan los sensores remotos, transectas móviles de terreno, datos recopilados por estaciones climáticas automáticas e información puntual de terreno.

El trabajo se basa en este tipo de metodologías, cuyos resultados preliminares permitieron la confección de una carta climática que integra información satelital (imágenes de temperaturas superficiales y de índice vegetal), información topográfica (altitud, pendiente y exposición), información estadística (principalmente pluviometría, humedad relativa y temperatura) e información de terreno (temperatura, humedad relativa y vientos).

La carta de climas locales, será discutida a continuación y mejorada más adelante con datos adicionales acerca del uso del suelo, cobertura vegetal y tipos de suelos.

* *Proyecto FONDECYT 1930027, resumen presentado al VI Encuentro Nacional en Percepción Remota, (SELPER) 16 al 19 de agosto, Viña del Mar, Chile.*

2.- ANTECEDENTES

La clasificación de los climas locales parte de una caracterización general de la pluviometría (IHL y HENRIQUEZ, 1993), que permite identificar un primer rasgo de las lluvias en esta región, que consiste en una alta variabilidad interanual y lluvias muy concentradas en invierno: mayo a julio (HENRIQUEZ, 1990).

Estas dos características reunidas, constituyen un primer antecedente negativo para el desarrollo normal de las actividades de secano.

Para el área de estudio, que comprende las comunas de Ninhue, Quirihue, Coelemu, Trehuaco, Portezuelo y Ranquil, con aproximadamente 220 mil hectáreas distribuidas en sectores de lomajes y valles (Provincia de Ñuble, VIII Región del Bío-Bío), es muy importante tomar en cuenta la variabilidad interanual de las precipitaciones, puesto que se trata mayoritariamente de comunas de secano, cuya dinámica depende más estrechamente de la disponibilidad de agua de lluvia en comparación a sectores donde predomina la actividad agrícola bajo riego o la forestación.

El área de estudio se ve fuertemente afectada por la ocurrencia de años secos y prolongados períodos de sequía (IHL, 1993). En efecto, entre 1925 y 1991, se contabilizaron 23 años secos, de los cuales cerca de la mitad fueron muy secos, es decir más de una desviación estándar por debajo del promedio, destacando tres sequías prolongadas (dos o más años consecutivos secos): 1954/56; 1967/70 y 1989/91.

3.- PATRONES ESPACIALES GENERALES

Del total de la serie de tiempo disponible, se seleccionó el último período seco (1989/91), para estimar la efectividad de las lluvias y el efecto espacial de las sequías sobre los recursos territoriales, mediante el monitoreo de la cobertura vegetal con imágenes de índice vegetal del satélite NOAA/AVHRR.

Se comprobó, en efecto, que existe una estrecha relación entre las variaciones pluviométricas y el índice vegetal, reduciéndose este último especialmente en períodos de sequía, en toda el área de estudio, excepto en los sectores forestados, que se concentran mayoritariamente al S del río Itata (comunas de Coelemu y Ranquil).

En base a años secos y lluviosos, se confeccionó un mapa de índice vegetal promedio escala 1:100.000, que permite distinguir cuatro subsistemas dentro del área de estudio:

- El área fluvial, en las inmediaciones mismas del río Itata, que presenta en promedio un índice muy bajo o nulo (10-20%), correspondiendo a suelo desnudo, que sólo temporalmente se cubre de pastos y eventualmente cultivos esporádicos, con una ausencia total de matorrales y árboles.
- Toda el área central, típicamente de secano, que presenta en promedio un índice vegetal bajo (20-30%). Se trata de extensas serranías costeras, interfluvios y lomajes que se desarrollan al N del río Itata, con escasos cursos de agua permanentes y cobertura arbórea limitada, predominando sobre los matorrales y bosques, la estepa y cultivos de cereales o leguminosas y terrenos en barbecho. En esta extensa área central, sólo en forma esporádica el índice vegetal se torna máximo, coincidiendo con años muy lluviosos, y es, en consecuencia, el área más susceptible a los efectos de las sequías.
- La vertiente oriental de la Cordillera de la Costa al N del río Itata, que en promedio presenta un índice vegetal medio (30-40%), caracterizado por una cobertura vegetal más densa formada por matorrales y un incipiente desarrollo forestal con un índice vegetal mayor (40-50%), el cual no varía en forma tan sensible, con los cambios pluviométricos interanuales, como ocurre en el resto del área de estudio.
- La vertiente oriental de la Cordillera de la Costa y serranías costeras al S del río Itata, que en promedio presentan un índice vegetal mayor (40-50%), predominando la actividad forestal donde, sin embargo, coexisten extensos sectores aún típicamente de secano o en transición, con índices vegetales muy bajos (20-30%) o medios (30-40%).

En base a 14 estaciones pluviométricas, se extrapolaron los datos de precipitación promedio anual obteniéndose un mapa pluviométrico, escala 1:100.000, que subdivide el área de estudio en cuatro áreas:

- La depresión pluviométrica de Lircay, al NE del área de estudio, que no supera los 900 mm anuales (681,1 mm en promedio).
- El área central nor-oriental, típicamente de secano con precipitaciones anuales que varían entre 900 y 1.000 mm (Quirihue 942,4 mm anuales).
- El área central propiamente tal al N y S del río Itata, típicamente de secano, pero con un mayor desarrollo forestal, con precipitaciones que varían entre 1.000 y 1.100 mm (Quilpolemu 1.009,3 mm).
- Finalmente, el área al S del río Itata con precipitaciones que varían entre 1.100 y 1.200 mm anuales (San Ignacio 1.110,4 mm).

Comparando el mapa de índice vegetal promedio y el mapa pluviométrico, si bien en forma muy general, ya es posible identificar ciertas similitudes o rasgos espaciales homogéneos, como son:

- La existencia de una depresión pluviométrica al NE del área de estudio que coincide con un índice vegetal bajo (20-30%) típicamente de secano, y
- La existencia de un cinturón de máxima pluviometría al S del río Itata, que coincide con un índice vegetal alto (40-50%).

Finalmente, al aplicar la clasificación climática de Thornwaite, (HENRIQUEZ, 1990), el área de estudio presentaría un clima húmedo mesotérmico, cuyas características desde el punto de vista del índice hídrico anual (Im) son más variables que la eficacia térmica (PE). En efecto, dentro de este clima húmedo mesotérmico es posible identificar 5 subtipos que varían fundamentalmente por el grado de escaséz de agua (Im) y la duración del período seco:

- El área nor-occidental de la vertiente de sotavento de la Cordillera de la Costa, en las cercanías de Quirihue, presenta un déficit de agua mayor en verano (28 cm de déficit hídrico) y un período seco muy prolongado de cinco meses (diciembre a abril).
- El extremo nor-oriental del área de estudio, en las cercanías de Lircay, sería un segundo subtipo que también presenta una falta de agua grande en verano (28.1 cm), pero un período seco de cuatro meses (diciembre a marzo).

- En el área central occidental, en las inmediaciones del curso inferior del río Itata, aparece un tercer subtipo que encierra las estaciones de Quilpolemu y Coelemu. Comparado con los dos subtipos anteriores, presenta una falta de agua más moderada en verano (27.1 cm en Quilpolemu y 24.8 cm en Coelemu) y un período seco de cuatro meses (diciembre a marzo).
- En el área central oriental al S del río Itata, aparece un cuarto subtipo, cerca de Nueva Aldea, también con una falta de agua moderada en verano pero sustancialmente menor a las anteriores (21.5 cm) y un período seco de cuatro meses (diciembre a marzo).
- En el área central al S del río Itata, siempre en la vertiente de sotavento, distingue un quinto subtipo con una falta de agua también moderada en verano (24.5 cm en San Ignacio) y un período seco de cuatro meses (diciembre a marzo).

4.- LA CARTA DE CLIMAS LOCALES

Integrando los resultados del mapa pluviométrico, el mapa de índice vegetal promedio y la clasificación climática de Thornwaite, es posible identificar los siguientes rasgos espaciales característicos:

- La existencia de una depresión pluviométrica al NE del área de estudio que coincide con un índice vegetal bajo (20-30%) típicamente de secano.
- La existencia de un cinturón de máxima pluviometría al S del río Itata, que coincide con un índice vegetal alto (40-50%).
- El área central y N del área de estudio (Quirihue y Lircay) con una gran falta de agua en verano y en consecuencia con los mayores déficit hídricos del área de estudio (28 cm) y período seco más prolongado (4 a 5 meses).
- El resto del área de estudio con un período seco de hasta cuatro meses y una falta de agua moderada en verano, con un déficit hídrico que disminuye gradualmente hacia el S (27 cm Quilpolemu, 24.8 cm Coelemu, 24.5 cm San Ignacio y 21.5 cm Nueva Aldea).

Estos cinco subtipos, determinados en base a la clasificación de Thornwaite, tienen cierta relación con los patrones espaciales de las imágenes nocturnas de temperaturas superficiales (promedio invierno/verano) que permiten identificar seis subtipos de climas térmicos:

- La Boca del río Itata, con veranos frescos (12-15° C) e inviernos templados cálidos (10-13°C).
- El área bajo influencia oceánica, que forma un embudo al abrirse el valle en las cercanías de Coelemu, con inviernos y veranos templados (15-19° C y 3-7° ó 7-10° C respectivamente).

  La vertiente de sotavento del Cordón Costero al N y S del río Itata, con veranos templados (15-19° C) e inviernos fríos (3-7° C).
- Las serranías y cordones sobre los 500 m de altitud, en el extremo NO (Quirihue) y SE (San Ignacio) del área de estudio, con veranos cálidos (19-22° C) e inviernos muy fríos (0-3° C).
- El cordón montañoso de Ninhue (cerros Guallipén 774 m y Coiquén 908 m), con veranos cálidos (15-19° ó 19-22°) e inviernos templados fríos a muy fríos (0-3° ó 3-7° C), y
- El área central bajo los 500 m.s.n.m. correspondiente a interfluvios y fondos de valles, con veranos muy cálidos (19-22°C) y la existencia de islas de calor en los alrededores de Ninhue (22-24°C), con inviernos templados fríos (dependiendo de la exposición y características del sitio con temperaturas que varían entre 0-3° C, 3-7° C y 7-10° C).

Como se puede constatar, las imágenes termales, permiten identificar mayores diferencias climáticas dentro del área de estudio. En consecuencia, estos patrones espaciales servirán de base para la carta de climas locales, que reúne las características de temperaturas y humedad. La información acerca de los vientos es muy escasa y sólo se dispone de datos de transectas móviles, que dan cuenta de la existencia de vientos de valle y brisas del mar, que se intensifican alrededor de las 13:00 hrs, mientras que por las noches son más frecuentes las calmas. En verano predominan los vientos del S y la mayor parte del día soplan los vientos del oeste, invirtiéndose este patrón en invierno, con vientos predominantemente del N.

En consecuencia, la carta de climas locales distingue 6 subtipos climáticos:

1) La Boca del río Itata, con veranos frescos (12-15°C) e inviernos templados cálidos (10-13°C), un período seco de hasta cuatro meses y una falta de agua moderada en verano.
2) El área bajo influencia oceánica, que forma un embudo al abrirse el valle en las cercanías de Coelemu, con inviernos y veranos templados (15-19°C y 3-7° ó 7-10°C respectivamente), un período seco de hasta cuatro meses y una falta de agua moderada en verano, con un déficit hídrico moderado (27 cm Quilpolemu, 24.8 cm Coelemu).
3) La vertiente de sotavento del Cordón Costero al N y S del río Itata, con veranos templados (15-19°C) e inviernos fríos (3-7°C). Un período seco de hasta cuatro meses y una falta de agua moderada en verano.
4) Las serranías y cordones sobre los 500 m de altitud, en el extremo NO (Quirihue) y SE (San Ignacio) del área de estudio, con veranos cálidos (19-22°C) e inviernos muy fríos (0-3°C). Los primeros con una gran falta de agua en verano y un período seco más prolongado (5 meses) y los segundos corresponden al cinturón de máxima pluviometría con una reducción significativa del déficit hídrico (21.5 cm Nueva Aldea y 24.5 cm San Ignacio).
5) El cordón montañoso de Ninhue (cerros Guallipén 774 m y Coiquén 908 m), con veranos cálidos (15-19° ó 19-22°) e inviernos templados fríos a muy fríos (0-3° ó 3-7° C), con una gran falta de agua en verano, gran déficit hídrico y un período seco de 4 meses.
6) El área central bajo los 500 m.s.n.m. correspondiente a interfluvios y fondos de valles, con veranos muy cálidos (19-22° C) y la existencia de islas de calor en los alrededores de Ninhue (22-24° C), con inviernos templados fríos (dependiendo de la exposición y características del sitio con temperaturas que varían entre 0-3°C, 3-7° C y 7-10° C). Coincide con la depresión pluviométrica de Lircay al NE del área de estudio con una gran falta de agua en verano y en consecuencia con los mayores déficit hídricos del área de estudio (28 cm) y un período seco más prolongado (4 a 5 meses).

5.- VARIACIONES DIARIAS

Los datos recopilados por dos termohidrógrafos instalados en Coelemu y Ninhue respectivamente, permiten

comparar las diferencias extremas de temperatura y humedad relativa, que se producen durante el período cálido y, en consecuencia, complementan la carta de climas locales anteriormente descrita. Los instrumentos fueron instalados en retenes de carabineros, bajo sombra y a 1,5 mts del suelo.

Los registros experimentales se inician en diciembre de 1993 y finalizan en mayo de 1994. Sin embargo, los datos recopilados no son del todo comparables con los datos de estaciones meteorológicas, debido fundamentalmente a diferentes condiciones de instalación, deficiencias en la operación y mantención de los registros diarios, todo lo cual se manifiesta en frecuentes interrupciones y errores en la gráfica tanto de la temperatura como de la humedad relativa:

TABLA 1

Numero de días con observaciones completas (T° y h%)							Total Período
Estación	Dic. 93	Ene. 94	Feb. 94	Mar. 94	Abr. 94	May. 94	181
Ninhue	25	31	25	31	26	18	156

TABLA 2

Numero de días con observaciones completas (T° y h%)							Total Período
Estación	Dic. 93	Ene. 94	Feb. 94	Mar. 94	Abr. 94	May. 94	181
Coelemu	22	29	25	31	22	20	149

Debido a la calidad de los datos obtenidos, y al escaso período de tiempo considerado (181 días), los resultados sólo debieran interpretarse como antecedentes generales.

Sin embargo en términos generales, los datos son bastante aceptables si se comparan con las estaciones de Concepción y Chillán, que cuentan con registros de más de 30 años (tabla 3). Como era de esperarse, las variaciones de la temperatura media mensual de Coelemu son bastante similares a las de Concepción y las de Ninhue más parecidas a las de Chillán. Así la media del período (diciembre-mayo) para Coelemu y Concepción se acerca a 15° C, algo inferior a la media del período para Ninhue y Chillán, que supera levemente los 17° C.

TABLA 3

Temperatura Media Mensual (°C)

	Coelemu	Concepción	Ninhue	Chillán
Diciembre	16.52	17.20	18.86	20.40
Enero	16.78	17.90	20.89	21.40
Febrero	17.32	17.50	19.18	20.80
Marzo	17.45	15.60	19.54	17.10
Abril	12.30	13.10	13.81	14.10
Mayo	9.96	11.50	10.32	10.80
Promedio	15.06	15.42	17.10	17.43

Este patrón general, sin embargo se modifica muy importantemente al analizar en detalle las variaciones diarias de la temperatura y humedad relativa. El período considerado (diciembre-mayo), no sólo será útil para comparar las diferencias locales entre Ninhue y Coelemu, sino también para validar las transectas móviles de la campaña de verano del 7 y 8 de febrero de 1994 (tabla 4).

De acuerdo a los datos de temperatura y humedad relativa horaria de las estaciones experimentales, las variaciones diarias en verano pueden ser significativas según se trate de un día despejado o nublado, lo cual, a su vez, debiera incidir en la intensidad de los vientos.

La noche anterior al 7 de febrero, la humedad relativa alcanzaba entre un 60% (Ninhue) y 80% (Coelemu). Con cielos despejados, esta humedad se disipa rápidamente en las primeras horas de la mañana, produciéndose el mínimo después del mediodía (16:00), siendo menor en Coelemu (38%) que en Ninhue (45%). Esto se debe probablemente a la mayor temperatura registrada a las 16:00 hrs de la tarde (28° C) y menor a las 8:00 hrs de la mañana (8° C) en Coelemu. En consecuencia, la tasa de enfriamiento nocturno y de calentamiento diario de Coelemu supera a Ninhue. Aún cuando esto pareciera contradecir las reglas generales, puesto que Coelemu se encuentra situado más cerca del litoral que Ninhue, la explicación podría eventualmente encontrarse en la mayor intensidad y frecuencia de los vientos de valle y brisas de mar que generan una mejor ventilación en los fondos del valle del río Itata, disipando las nubes y el rocío, diferencia que se manifiesta notoriamente en Coelemu. Al atardecer, disminuye gradualmente la temperatura y aumenta la humedad relativa, alcanzando recién cerca de la medianoche los niveles mínimos y máximos respectivos.

TABLA 4

Temperaturas Horarias Febrero 1994 (°C)

	NINHUE		COELEMU		COELEMU*	
día	7	8	7	8	7	8
02:00	12	17	12	14		
04:00	10	15	10	14		
06:00	11	14	8	11		
08:00	17	15	8	9	11.0	11.15
10:00	20	17	18	10	11.0	12.5
12:00	24	21	21	21	23.0	23.5
14:00	25	25	27	27	30.0	29.5
16:00	26	26	28	29	31.0	27.5
18:00	26	25	26	26	30.0	28.5
20:00	24	23	24	22	27.5	24.5
22:00	21	20	21	21	24.0	23.5
24:00	19	19	15	13	17.0	15.5

COELEMU Mediciones Móviles*

El día 8 de febrero, la humedad almacenada la noche anterior es menor en Ninhue (62%) que en Coelemu (72%). Un segundo día consecutivo despejado, la humedad que se disipa por la mañana, produce como efecto una mínima más extrema en Coelemu (30%) que en Ninhue (38%). Esto se relaciona con una mayor temperatura registrada a las 16:00 hrs de la tarde (29° C) en Coelemu, en las horas de máximo calentamiento, y menor en las horas de mayor enfriamiento, cerca de las 8:00 hrs de la mañana (9° C). En

consecuencia, al igual que en el día anterior, la tasa de enfriamiento nocturno y de calentamiento diario de Coelemu supera a Ninhue. Comparando ambas fechas, puede decirse, que el día 8 de febrero, las condiciones de temperatura y humedad fueron algo más cálidas y secas que el día 7.

Se calcularon los promedios horarios de temperatura y humedad de cada mes, para conocer el ciclo diario de calentamiento y enfriamiento para cada estación, mes a mes:

Mes de diciembre:

La temperatura máxima absoluta y la temperatura promedio del mes de diciembre es algo mayor en Ninhue comparada a la de Coelemu. Las máximas fluctúan entre 30° C y 29° C respectivamente. Las mínimas absolutas de diciembre, fluctúan entre 5° C (Coelemu) y 7° C (Ninhue). Y la temperatura promedio del mes entre 18.86° C (Ninhue) y 16.52° C (Coelemu). La humedad relativa se mantiene sobre el 40% la mayor parte del día, superando levemente Ninhue (57.79%) a Coelemu (56.62%). La mínima se produce alrededor del mediodía.

TABLA 5						
Humedad Relativa Febrero 1994 (%)						
	NINHUE		COELEMU		COELEMU*	
Día	7	8	7	8	7	8
02:00	58	58	71	65		
04:00	60	60	75	60		
06:00	60	62	78	70		
08:00	60	62	80	72	45	31
10:00	60	55	55	65	30	40
12:00	52	48	45	40	25	35
14:00	50	43	40	31	25	30
16:00	45	38	38	30	25	30
18:00	48	30	40	37	25	25
20:00	50	46	41	41	25	25
22:00	53	50	55	47	25	30
24:00	54	53	65	70	35	40
COELEMU Mediciones Móviles*						

El ciclo diario es muy similar en ambas estaciones, excepto durante la noche y la madrugada, período en el cual Coelemu supera levemente a Ninhue.

Mes de enero:

La temperatura máxima absoluta y la temperatura promedio del mes es algo mayor en Ninhue comparada a Coelemu. Las máximas fluctúan entre 33° C y 32° C respectivamente. Las mínimas absolutas de enero, fluctúan entre 4° C (Coelemu) y 11° C (Ninhue), y la temperatura promedio del mes entre 20.89° C (Ninhue) y 16.78° C (Coelemu).

La humedad relativa se mantiene sobre el 45% la mayor parte del día, superando levemente Coelemu (59.88%) a Ninhue (55.88%). La mínima se produce alrededor del mediodía y el ciclo diario es muy similar, excepto durante la noche y la madrugada, período en el cual Coelemu supera levemente a Ninhue.

Mes de febrero:

La diferencia entre ambas estaciones es de +2° C para Ninhue. A pesar de presentar Coelemu mayores temperaturas máximas absolutas (35° C) en relación a Ninhue (31° C), la temperatura promedio del mes, sigue siendo mayor en Ninhue (19.18° C y 17.32° C respectivamente). Las mínimas absolutas, fluctúan- entre 4° C (Coelemu) y 10° C (Ninhue).

La humedad relativa se mantiene sobre el 40% la mayor parte del día, alcanzando un máximo de 65% durante la madrugada. Coelemu supera sólo en 1% a Ninhue (58.91% y 59.2% respectivamente). La mínima se produce alrededor del medio día. Nuevamente, el ciclo diario es muy similar en ambas estaciones, excepto ahora durante el día, en las horas de más calor, período en el cual Ninhue supera levemente a Coelemu.

Mes de marzo:

La diferencia entre ambas estaciones es de +2° C para Ninhue. Las temperaturas máximas absolutas de Coelemu (37° C) superan a Ninhue (31° C). La temperatura promedio del mes sin embargo, sigue siendo algo mayor en Ninhue (19.54° C y 17.45° C respectivamente). Las mínimas absolutas de marzo, fluctúan entre 0 C (Coelemu) y 5 C (Ninhue).

La humedad relativa se mantiene sobre el 45% la mayor parte del día, alcanzando un máximo de 70% durante la madrugada. Coelemu supera en 1% a Ninhue (59.09% y 58.42% respectivamente). La mínima se produce alrededor del mediodía. Nuevamente, el ciclo diario es muy similar en ambas estaciones: Coelemu es algo más húmedo que Ninhue durante la noche y menos húmedo durante el día.

Mes de abril:

La diferencia entre ambas estaciones es de +2° C para Ninhue. Las temperaturas máximas absolutas de Coelemu (31° C) superan a Ninhue (24° C). La temperatura media mensual de Ninhue, sin embargo, sigue siendo algo mayor (13.81° C y 12.3° C respectivamente). Las mínimas absolutas de marzo, fluctúan entre 0° C (Coelemu) y 5° C (Ninhue), siendo siempre más cálido Ninhue al atardecer y en horas de la noche.

La humedad relativa se mantiene sobre el 50% la mayor parte del día, alcanzando un máximo de 75% durante la madrugada. Este mes, Ninhue supera menos de 1% a Coelemu (66.15% y 65.97% respectivamente). La mínima se produce alrededor del mediodía. Nuevamente, el ciclo diario es muy similar en ambas estaciones: Coelemu es algo más húmedo que Ninhue durante la noche y menos húmedo durante el día.

Mes de mayo:

La temperatura de Ninhue supera a Coelemu en aproximadamente +1° C. Las temperaturas máximas absolutas de Coelemu (33° C) superan ampliamente a Ninhue (20° C). La temperatura promedio del mes, sigue siendo algo mayor en Ninhue (10.32° C y 9.96° C respectivamente). Las mínimas absolutas de marzo, son sustancialmente menores en Coelemu (-3° C) en compara-

ción a Ninhue (1° C). Las mayores diferencias se observan en horas de la tarde y por la noche, cuando Ninhue supera a Coelemu.

La humedad relativa se mantiene sobre el 55% la mayor parte del día, alcanzando un máximo de 80% durante la madrugada. Este mes, la humedad relativa de Ninhue supera en alrededor de un 4% a Coelemu (75.45% y 71.89% respectivamente). La mínima se produce al mediodía y el ciclo diario es muy similar en ambas estaciones: Coelemu es algo más húmedo que Ninhue durante la noche y menos húmedo durante el día.

Como una norma general, la temperatura promedio mensual de Ninhue supera levemente a Coelemu. Las mayores diferencias se observan sin embargo en las temperaturas máximas y mínimas diarias: Coelemu presenta temperaturas bastante más bajas que Ninhue durante la noche, y algo mayores durante el mediodía. Esta diferencia evidencia una tasa de calentamiento y enfriamiento mayor, en relación a Ninhue, adelantándose normalmente la hora de máximo calor, lo cual sería un indicador de una mayor pérdida nocturna por una parte, y por otra, una mayor intensidad de los rayos solares durante la mañana, todo lo cual se debe a condiciones de abrigo menos favorables.

Existen diferencias también en la distribución de la humedad. Contrariamente a lo esperado, la humedad relativa de Coelemu es prácticamente igual a Ninhue. Incluso Ninhue supera levemente a Coelemu durante las horas de máximo calentamiento (entre las 14:00 y 16:00 hrs). Por otro lado, Coelemu siempre supera a Ninhue en horas de máximo enfriamiento (entre las 6:00 y 8:00 de la mañana). Lo cual se encuentra plenamente en concordancia con las diferencias térmicas observadas.

Finalmente, en todo el período cálido, especialmente en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, Ninhue supera térmicamente a Coelemu, en aproximadamente 2 C, lo cual también queda ratificado por las imágenes de temperaturas superficiales. En tanto que a partir de abril, las diferencias térmicas promedio entre ambas estaciones son mínimas, lo cual también quedó de manifiesto en el análisis de las imágenes de temperaturas superficiales de invierno, período en el cual se disuelven completamente las islas de calor.

6.- CONCLUSIONES

Se presentan los resultados preliminares de la carta de climas locales del valle del río Itata, mediante sistemas de información geográfica, imágenes termales, transectas móviles y estaciones automáticas. Se distinguen 6 subtipos climáticos termales dentro de la clasificación climática de Thornwaite que hace una distinción en la duración del período seco y en el déficit hídrico.

En consecuencia, la información aportada por las imágenes termales permite identificar con mayor detalle los patrones locales de los climas en áreas de secano con relieve complejo.

En efecto, al comparar las condiciones de humedad y temperatura de Coelemu con Ninhue, fue posible distinguir diferencias en los ciclos diarios:

Coelemu se localiza dentro del área bajo influencia oceánica, que forma un embudo al abrirse el valle hacia las serranías centrales, con inviernos y veranos templados, un período seco de hasta cuatro meses, una falta de agua moderada en verano, con un déficit hídrico moderado también (27 cm Quilpolemu, 24.8 cm Coelemu). Aún cuando, como una norma general, la temperatura promedio mensual de Ninhue supera levemente a Coelemu, Coelemu presenta temperaturas bastante más bajas que Ninhue durante la noche, y algo mayores durante el día. Existen diferencias también en la distribución de la humedad relativa, puesto que lo habitual es que Ninhue supera a Coelemu durante las horas de máximo calentamiento (entre las 14:00 y 16:00 hrs), mientras que Coelemu supera a Ninhue en horas de máximo enfriamiento (entre las 6:00 y 8:00 de la mañana). Lo cual se encuentra plenamente en concordancia con las diferencias térmicas observadas.

Por su parte, Ninhue se encuentra inserta en el área central bajo los 500 m.s.n.m., con veranos muy cálidos y, a diferencia de Coelemu, caracterizados por la generación de islas de calor en verano e inviernos más fríos. El sector de Ninhue coincide con una depresión pluviométrica cuyo centro se localiza en Lircay., al NE del área de estudio, con ciertas características de enclaustramiento, que presenta una gran falta de agua en verano y, en consecuencia, los mayores déficit hídricos del área de estudio (28 cm) y también un período seco más prolongado (4 a 5 meses).

BIBLIOGRAFIA

IHL, M. y M. HENRIQUEZ 1993. ***Aproximación al estudio topoclimático de la cuenca del río Itata.*** *Resumen de ponencias XV Congreso de Geografía y VI Jornadas de Cartografía Temática. 3 al 6 de noviembre, 1993, Osorno. 10p.*

HENRIQUEZ, M. 1990. ***Climatología de la cuenca del río Itata.*** *Revista Geográfica de Chile, Terra Australis, 33: 7-27 p.*

IHL, M. 1993. ***Estimaciones de la efectividad de las lluvias con observaciones satelitales.*** *Resumen de ponencias V Encuentro Nacional en Percepción Remota (SELPER), 4 al 6 de agosto, 1993, Temuco. 10 p.*

ANALISIS COMPARATIVO, VISUAL Y DIGITAL, DE FOTOGRAFIAS AEREAS PANCROMATICAS EN VISIBLE E INFRARROJO CERCANO

Griselda E. Carñel, Armando Brizuela
Investigador del CONICET - Buenos Aires, Argentina

César A. Aguirre y Walter Sione
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos
CC Nº 24 (3100), Paraná, Entre Ríos, Argentina

Resumen

Los datos obtenidos por sensores remotos, en diferentes bandas o longitudes de onda, representan una de las alternativas apropiadas para identificar los patrones de cultivo y estimar la superficie sembrada.

Sin embargo, desde el punto de vista operativo, no siempre es posible obtener todos los datos que posibiliten efectuar las estimaciones agrícolas en forma precisa, oportuna y confiable.

Es frecuente observar que, al informar resultados, no se indique la precisión ni la confiabilidad en las estimaciones. Las fuentes de error pueden estar no sólo en los datos originales sino que, además, pueden deberse a los métodos o técnicas empleados. De aquí, entonces, la importancia de conocer su incidencia en los resultados.

En este trabajo se comparan resultados de una técnica de fotointerpretación visual para la identificación de patrones de cultivo con las clasificaciones, supervisada y no supervisada, obtenidas por procesamiento digital.

Se utilizaron fotografías aéreas pancromáticas en visible e infrarrojo cercano, Esc. 1:52.700, obtenidas el 10 de diciembre de 1993, cubriendo íntegramente el Distrito Chilcas, Victoria, Entre Ríos.

Como resultado se codificaron visualmente todos los lotes de Chilcas y se estimó la superficie sembrada de trigo, campaña 1993/94. Además, mediante análisis digital, se efectuaron clasificaciones, supervisada y no supervisada, en las zonas H y F. Los resultados de área sembrada, con trigo y maíz, muestran diferencias significativas -10% al 50% o más- entre las diferentes técnicas.

En general se observó un alto componente de confusión entre los elementos presentes en las escenas, producto de la heterogeneidad de respuestas espectrales en el momento de la toma de datos. Si bien se cuenta, con alta precisión en los datos originales, resolución del pixel utilizado 11 m x 12 m, y en los datos de campo -muestreo estratificado aleatorizado- no se refleja en la precisión de las estimaciones.

Los resultados son dispares, según la técnica empleada, aunque se podrían mejorar significativamente si se efectúan dos tomas durante el ciclo del cultivo. Las confusiones más notables se observaron entre maíz-pastizales y trigo-pastizales.

ABSTRACT

COMPARATIVE, VISUAL AND DIGITAL ANALYSIS OF PANCHROMATIC AERIAL PHOTOGRAPHS IN VISIBLE AND NEAR INFRARED

Data obtained by remote sensors in different bands or wave lengths represent one of the adequated alternatives to identify crop patterns and to estimate crop surfaces.

However, from the operative standpoint, it is not always possible to obtain all the data which could possibly help in making precise, accurate and reliable agricultural estimates.

It is frequently observed that neither precision nor reliability in the estimates are showed in the results. The source of such errors may be not only in the original data but also in the methods or techniques employed. Hence the importance of knowing the incidence they may have on the results.

A comparison between a visual photo interpretation technique to identify crop patterns and supervised and non supervised classification obtained by digital processing, is showed in this work.

Panchromatic aerial photographs in visible and near infrared, scale 1:52.700, covering the Chilcas District, Victoria, Entre Ríos, taken on december 10th, 1993, were used.

As a result, all Chilcas' plots were codified, and the wheat area for the 1993/1994 season was estimated. Besides, by means of the digital analysis, supervised and

non- supervised classifications were made on the H and F zones. The results from the maize and wheat areas show significant differences - 10 % to 50 %- between the different techniques.

In general, a high confusion component was observed among the elements present in the scenes as a result of the heterogeneity of the spectral answers due to the time data were taken. Notwithstanding, the high precision of the original data, resolution of the used pixel 11 m x 12 m, and of the field data random stratified sample- it is not shown in the precision of the estimates.

Results are different according to the technique employed though they could become significantly improved with two flights during the crop cycle. The most important confusions were observed between maize-grasslands and wheat-grasslands.

INTRODUCCION

En el sector agropecuario, el conocimiento en tiempo operativo de las estimaciones agrícolas permite una real planificación en el manejo de políticas agropecuarias (incentivo de determinadas siembras, concertación de negocios de exportación, establecimiento de agroindustrias y otras).

Desde comienzos de la década del '80 se realizan importantes esfuerzos para implementar sistemas operacionales de estimaciones agrícolas en diversos lugares del planeta. Si bien se han concretado avances notables en cuanto a los datos disponibles y técnicas de análisis; los satélites actuales tienen capacidad para obtener imágenes de alta resolución espacial, alta frecuencia de tomas sobre una misma zona, estereoscopía, bandas espectrales y en algunos casos independencia de la nubosidad, restan por mejorar cuestiones fundamentales. Entre estos aspectos pueden mencionarse los permanentes problemas de confusión en las firmas espectrales, diseño estadístico de muestreo y la propagación de errores en las determinaciones de áreas.

A estos cabe agregar otros de carácter operativo, como la escasa probabilidad de obtener las imágenes en el momento oportuno de desarrollo de los cultivos, la demora entre la toma de las imágenes, la entrega a los usuarios y los costos elevados.

Recientemente HIEDERER, et. al (1993), presentaron resultados del programa "Monitoring Agriculture by Remote Sensing" que se lleva a cabo en la Comunidad Europea dando cuenta de la complejidad del sistema y de la importante cantidad de imágenes SPOT y LANDSAT necesarias para obtener estimaciones de precisión aceptable.

También, la discriminación de cultivos sería más efectiva con el uso de datos multitemporales del satélite ERS-1 SAR (WOODING, et. al., 1993).

Este trabajo está orientado hacia la búsqueda de respuestas a los problemas mencionados, en particular cuando se trata de aplicaciones detalladas en áreas reducidas -un distrito, un departamento, o un grupo de ellos-. A tal efecto se propone la utilización de fotografías aéreas 1:50.000, en visible e infrarrojo cercano, la fotointerpretación y análisis digital apoyados por un diseño muestral para la obtención de datos de campo.

La fotografía en infrarrojo cercano, color o blanco y negro, prácticamente no ha sido utilizada en nuestro país. Entre los escasos antecedentes pueden mencionarse las aplicaciones mostradas por CARÑEL, et. al (1992), DIAZ, et. al (1993) y CARÑEL, et. al (1993) en el marco de las actividades del proyecto "Teledetección y modelos agroclimáticos para estimaciones agrícolas" de la Facultad de Ciencias Agropecuarias -UNER-.

En este trabajo se muestran los resultados, de análisis visual y digital, utilizando fotografías aéreas -visible e infrarrojo cercano- en un distrito.

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio corresponde al Distrito Chilcas, Dpto. Victoria, Pcia. de E. Ríos; tiene una superficie de 18.565 há, de la cual el 85% está destinada a diversas actividades agropecuarias. La zona ha sido descrita por FERNANDEZ y ORIOL (1992) al presentar los resultados de una estimación estadística.

Se empleó, como cartografía de base, el plano de escala 1:25.000 que contiene el detalle parcelario, la subdivisión en 11 (once) zonas y la numeración de los lotes que integran cada zona, confeccionado en un trabajo anterior (DIAZ, et al. op cit). En el Cuadro Nº 1 se indica la cantidad de lotes comprendidos en cada zona.

CUADRO Nº 1: ZONIFICACIÓN DEL DISTRITO CHILCAS Y NÚMERO DE LOTES POR ZONA.

Zona	Lotes	Zona	Lotes	Zona	Lotes
A	81	B	70	C	85
D	115	E	140	F	57
G	105	H	46	I	92
J	55	K	88	-	-
Nº total de lotes : 930					

Cada zona se digitalizó mediante una tableta digitalizadora, en modo 'vector', se delimitaron y numeraron los lotes como se muestra en la Figura 1 para la zona H.

El Grupo Aerofotográfico de la II Brigada Aérea obtuvo las fotografías aéreas en blanco y negro, visible e infrarrojo cercano, el día 10 de diciembre de 1993, en escala 1:52.700. Las mismas cubren la totalidad del área de estudio.

El rango de sensibilidad de estos materiales se halla entre 250 nm y 680 nm en el visible y entre 250 y 900 nm para el infrarrojo cercano. En este caso se filtró la componente visible utilizando un filtro, tipo Wratten 89B, que deja una ventana entre 690 nm y 900 nm (Publicación Nº M-28 KODAK, 1981).

Los fotogramas fueron digitalizados utilizando un scanner de página completa y posteriormente exportadas a formato IDRISI.

Para la obtención de los datos de campo se realizó un muestreo estratificado aleatorizado de los lotes a visitar, resultando en total 138 potreros. Además se seleccionaron las zonas "F" y "H" para llevar a cabo un relevamiento de la totalidad de los lotes a los efectos de realizar una comparación con las cifras reales.

El trabajo de campo se concretó entre los meses de septiembre de 1993 a febrero de 1994, registrando en una planilla los datos de cada potrero muestreado

Análisis visual:

Se tomó una escala de grises, tanto para las fotografías en visible como para infrarrojo, asignando un código como se detalla en el Cuadro 2.

CUADRO N° 2: ESCALA DE GRISES -VISIBLE E INFRARROJO

VISIBLE		INFRARROJO	
Cód.	Detalle	Cód.	Detalle
V1	Blanco	I1	Blanco
V2	Blanco grisáceo	I2	Blanco grisáceo
V3	Gris claro	I3	Gris claro
V4	Gris	I4	Gris
V5	Gris oscuro	I5	Gris oscuro
V6	Negro	I6	Negro

Se codificaron los lotes con la combinación alfanumérica resultante de la interpretación visual de las fotografías en visible e infrarrojo cercano, como se ejemplifica en el Cuadro 3.

CUADRO Nº 3: CODIFICACIÓN ALFANUMÉRICA

Zona	Lote Nº	Codificación
A	X1	V4I3
A	X2	V3I5
•	•	•••
•	•	•••
•	•	•••
K	Xn	V3I4

En las interpretaciones realizadas sobre las fotografías, se consideraron las siguientes clases:

- TRIGO: todo lote con trigo en pie, en estado fenológico de grano céreo a córneo.
- MAIZ: todo lote con maíz con mucha masa verde.
- PASTIZALES: todo lote dedicado a ganadería, sean pasturas implantadas o naturales.
- OTROS: lotes de trigo ya cosechados al momento de la toma de las fotografías, arados, etc.

Se realizó una codificación de los lotes del distrito y se ajustó a partir de los datos de campo obtenidos de las inspecciones a los lotes muestreados.

Análisis digital:

Los fotogramas en formato 'raster', en visible (VIS) y en infrarrojo (IRC), fueron tratados como dos bandas, procediendo a registrarlas geométricamente, se mejoró el aspecto visual al deplegarlas en el monitor, se combinaron entre sí, se obtuvo un falso color compuesto y se efectuaron clasificaciones supervisadas y no supervisadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis visual:

Se visitaron los lotes seleccionados presentando el uso que se indica en el Cuadro 4.

CUADRO 4: RELEVAMIENTO DE CAMPO.

VERDAD DE CAMPO	CANTIDAD DE LOTES
Trigo-Soja	52
Maíz	10
Sorgo	3
Girasol	1
Pastizales	72
Total	**138**

Comparando la codificación mencionada con la verdad de campo, para cada lote muestreado, resultan los cuadros Nº 5 y 6.

CUADRO Nº 5: CODIFICACIÓN PARA LOTES CON TRIGO

TRIGO	
CODIGO	LOTES
V1I6	4
V1I5	6
V1I4	1
V2I6	3
V2I5	7
V2I4	8
V2I3	3
V3I2	2
V4I2	2
V4I6	1
RASTROJO DE TRIGO	
V3I3	9
V3I4	3

CUADRO Nº 6: CODIFICACIÓN PARA LOTES CON MAÍZ

MAIZ	
CODIGO	LOTES
V5I2	4
V5I3	3
V4I3	1
V4I4	1
V3I5	1

La codificación visual de las clases mencionadas presentaron heterogeneidad como se muestra en el siguiente resumen de códigos obtenidos por clase:

- todo lo que codifica como V1I6, V1I5, V1I4, V2I6, V2I5, V2I4 y V2I3 corresponde a la clase TRIGO;
- todo lo que codifica como V5I2 y V5I3 corresponde a la clase MAIZ;
- todo lo que codifica como V6I3, V6I2, V6I1, V5I6, V5I4, V5I1, V4I5, V4I4 y V4I3 corresponde a la clase PASTIZALES;
- todo lo que codifica como V3I3 y V3I4 corresponde a lotes de trigo ya cosechados en el momento de la toma (10/12/93) e integra la clase RASTROJO.

Como resultado de la interpretación visual se observa una separación entre lotes de trigo y potreros ocupados con cosecha de verano como maíz y sorgo. Pero también,

el rastrojo de trigo manifestó cierta confusión con los denominados pastizales.

Igualmente los pastizales, que codifican como 'rastrojo', tienen un gran componente de gramíneas naturales (paspalum, setarias) y poca masa verde.

En el Cuadro N° 7 se vuelcan los datos en hectáreas ocupadas por trigo y maíz resultado de la codificación alfanumérica mencionada anteriormente.

CUADRO Nº 7: SUPERFICIE OCUPADA POR LAS CLASES TRIGO Y MAÍZ SEGÚN INTERPRETACIÓN VISUAL

ZONA (en há)	TRIGO (en há)		MAIZ (en há)
	en pie	rastrojo	
A	486	137	77
B	229	60	262
C	111	204	135
D	177	116	453
E	164	204	215
F	326	100	404
G	228	122	253
H	839	136	360
I	216	96	176
J	181	235	186
K	178	348	150
TOTAL	3.135	1.768	2.670
TOTAL TRIGO		**4.893.0**	

Análisis digital

Mediante una clasificación no supervisada se logró una buena separación para 3 (tres) clases, que corresponden a las áreas ocupadas con trigo, maíz y pastizales.

Se determinaron las áreas de ocupación para cada clase -como se muestra en el Cuadro Nº 8- y para dos zonas.

CUADRO Nº 8: CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA PARA LAS ZONAS H Y F

CLASE	Zona H (há)	Zona F (há)
TRIGO	759	229
MAIZ	339	76
PASTIZALES	498	749

En cuanto a la clasificación supervisada, usando el algoritmo de máxima verosimilitud, igualmente para tres clases, se arribó a los resultados indicados en el Cuadro Nº 9.

CUADRO Nº 9: CLASIFICACIÓN SUPERVISADA ZONAS H Y F

CLASE	ZONA "H" (en há)	ZONA "F" (en há)
TRIGO	950	538
MAIZ	298	67
PASTIZALES	434	518

Análisis comparativo:

Los resultados obtenidos del análisis visual para las zonas F y H (Cuadro Nº 7) y de las clasificaciones no supervisada y supervisada (Cuadros 8 y 9) fueron comparados con los datos reales de ocupación del suelo por las clases: trigo -en pie-, maíz y pastizales (Cuadros 10 y 11).

De la comparación surge que en estas zonas, en términos generales, el análisis visual da una mejor aproximación en la clase 'trigo', la clasificación supervisada en 'maíz' y la no supervisada en 'pastizales'.

Las diferencias encontradas entre clasificaciones digitales y datos de campo pueden atribuirse, en parte, a confusión en las firmas espectrales. Como resultado de esto se incorporan pixeles que se hallan fuera de los límites de los lotes cultivados y se excluyen otros que son internos pero no responden al patrón de clasificación.

Al realizar la estimación global agrupando las tres clases -trigo + maíz + pastizales- se observa que las diferencias en las estimaciones, con respecto a los datos reales están entre un 2% y un 17% según la zona.

CUADRO Nº 10: ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LA ZONA "H"

Zona "H"	Supervisada (há)	No supervisada (há)	Visual (há)	Real (há)
TRIGO	950	759	839	804
MAIZ	298	339	360	216
PASTIZALES	434	498	260	410

CUADRO N° 11: ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LA ZONA "F"

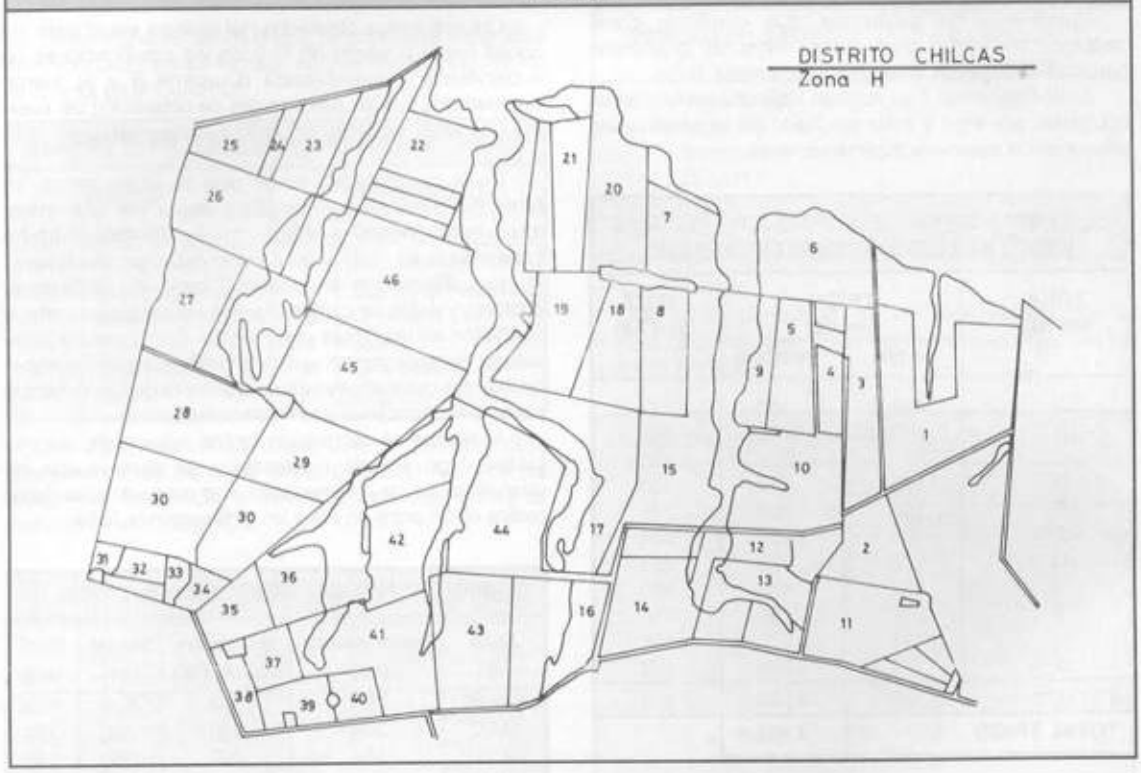
Zona "F"	Supervisada (há)	No supervisada (há)	Visual (há)	Real (há)
TRIGO	538	229	326	297
MAIZ	67	76	404	77
PASTIZALES	518	749	234	723

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la precisión en las estimaciones -en áreas con las características de Chilcas- dependen de la técnica utilizada y que la confusión es importante y puede dar lugar a valores poco confiables y precisos.

Para mejorar la identificación de los patrones de cultivos se cree conveniente obtener los datos en dos momentos del ciclo del cultivo. Además, el cálculo de áreas de clasificaciones digitales se podría mejorar contabilizando únicamente los pixeles de la clase que se encuentren dentro de los límites de los potreros, lo que implica mejorar el reconocimiento de contornos o polígonos.

FIGURA 1



BIBLIOGRAFIA

CARÑEL, G. E., A. B. BRIZUELA, L. ZIMMERMANN, R. R. FERNANDEZ y B. G. ORIOL, 1992. **Estimación de áreas sembradas mediante la utilización combinada de un muestreo estadístico y fotografía aérea infrarrojo color.** *II Congreso Ciencias de la Tierra. Ponencias y Resúmenes. Santiago, Chile.*

CARÑEL, G. E., C. E. ROMERO, A. B. BRIZUELA y C. A. AGUIRRE, 1993. **Delimitación de áreas erosionadas mediante fotografía infrarrojo color en el Distrito Chilcas, Entre Ríos.** *Publicación Especial de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Nº 1: 107-113.*

DIAZ, G., A. DE GIUSTO, E. ROLLE, A. B. BRIZUELA y G. E. CARÑEL, 1993. **Plano detallado del Distrito Chilcas, Entre Ríos, a partir de fotografía infrarrojo color.** *Publicación Especial de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Nº 1: 219-225.*

FERNANDEZ, R. y B. ORIOL, 1992. **Estimación de área sembrada de cosecha fina y gruesa en el Distrito Chilcas, Dpto. Victoria, Campaña 1991-92.** *Trabajo final de graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER :1-23.*

HIEREDER R., J. C. FAVARDE, D. GUEDES y M. SHARMAN, 1993. **Estimation european crop surfaces from SPOT and LANDSAT TM Data.** *International Symposium "Operationalization of Remote Sensing", The Netherlands: 10 p.*

KODAK, 1981. **Aplied Infrered Photography.** *Publicación Nº M-28: 1-86.*

WOODING, M. G., A. D. ZMUDA y G. H. GRIFFITHS, 1993. **Crop discrimination using multi-temporal ERS-1 SAR Data.** *Proceedings Second ERS-1 Symposium - Space at the Service of our Environment, Germany: 5 p.*

FIRST THEMATIC RESULTS USING MOMS-02 DATA AND FUTURE GEOSCIENTIFIC UTILIZATION

H. Mehl, J. Bodechtel & Q. Lei

AGF - Working Group Remote Sensing, Institute for General and Applied Geology, University of Munich - LMU, Luisenstr. 37, 80333 Muenchen, Germany
Fax.: 49-89-5203-253

Abstract

The Modular Opto-electronic Multi-spectral Stereo Scanner MOMS-02 experimental data acquired during the German Spacelab D2 mission will be used for a broad range of geoscientific objectives. The simultaneous acquisition of high spatial resolution, multispectral and stereo scenic data enables a real combination of thematic and topographic information, thus considerably improving the verification and interpretation of dynamic changes of the Earth's surface by means of remote sensing.

This paper gives a first assessment of the MOMS-02/D2 mission, the data quality and an overview on the planned methodological and application-oriented investigations for various test sites. On the basis of a few examples the possibilities of this system for future thematic applications are shown.

1. INTRODUCTION

MOMS-02 is the technological continuation of MOMS-01, which was the first instrument in space using the «push broom scan» principle. It was successfully flown aboard the Space Shuttle missions STS-7 and STS-11/41-B in 1983 and 1984 (BODECHTEL et al, 1985). MOMS-02 was launched aboard the Second German Spacelab Mission D2 on Space Shuttle flight STS-55 and aquired data between april 26 and may 6 1993.

The thematic geoscientific goals of the mission are focused on the combination of topographic and spectral information, which will be derived from the simultaneously acquired multispectral, multi-resolution and stereoscopic data (ACKERMANN et al., 1989; BODECHTEL & JUTZ, 1990). To meet these goals, 3 panchromatic and 4 spectral bands were defined in the visible (VIS) and near infrared (NIR) range of the electromagnetic spectrum. Width and centre wavelength of these bands are optimised for the detection of the spectral response of vegetation and for the discrimination of Fe-bearing rock and soil surfaces due to significant absorptions in the VIS/NIR spectral range (KAUFMANN et al., 1989).

2. TECHNICAL PARAMETERS

The technical features of the MOMS-02 camera are oriented toward the requirements of today's photo-

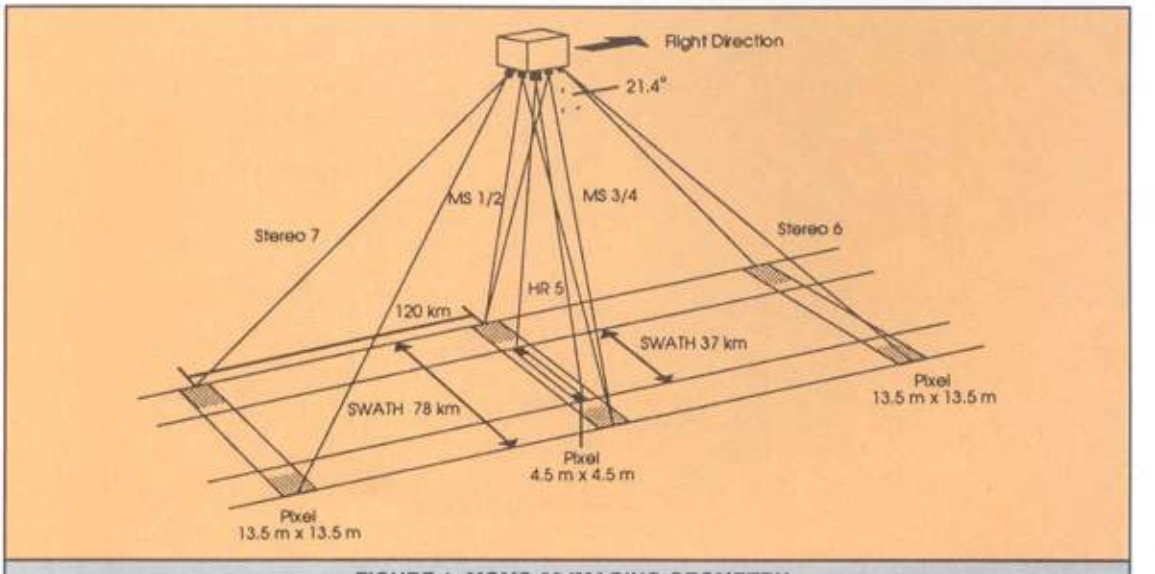


FIGURE 1: MOMS-02 IMAGING GEOMETRY

grammetric and thematic applications. Characteristic features of the sensor design include

- three-linear stereo imagery
- along-track stereo imagery
- high resolution imagery
- multispectral imaging
- combination of stereo - and multispectral imaging

Figure 1 shows the total MOMS-02 imaging geometry, and the resulting ground track. The swath width for the high resolution channel can be as much as 37 km, depending on the recording mode, and 78 km for the other channels. These values are relative to a nominal orbit altitude of 296 km. Because of the viewing angle of 21.4° of the two off-nadir stereo channels, the image swath on the earth's surface for these channels is seperated from the swath of the nadir channels by about 120 km.

Figure 2 gives a schematic representation of the MOMS-02 optical concept. In order to fulfil the different user requirements a modular concept was selected. The system consists of five lenses, three were designed for stereoscopic applications, wheras the other two enable the acquisition of multispectral data sets. The central lens, with a focal length of 660 mm, forms the core of the camera system. This camera acquires the high resolution imagery with a ground pixel size of 4.5 m x 4.5 m. In combination with the central high resolution lens, there are two other stereo lenses, each with a focal length of 237.2 mm. Because of their tilt angle of +21.4° and -21.4°, respectively, relative to the direction of flight, threefold stereoscopic imagery is enabled. The focal length of these lenses was selected as a way to obtain a 1:3 ratio for the ground pixel size of the high resolution and the tilted stereo channels. In addition, two other lenses, each with a focal length of 220 mm, enable the multispectral imaging of a total of four channels.

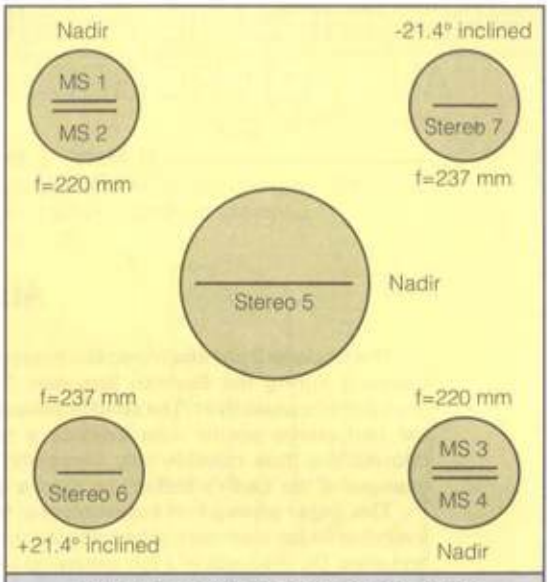


FIGURE 2: MOMS-02 OPTICAL CONCEPT

MOMS-02 is designed for spectral data acquisition in the VIS and NIR range (four channels) and for along-track stereo recording using a panchromatic channel for one nadir and two off-nadir looking modules. A ground pixel size of 13.5 m x 13.5 m for the spectral channels is a sound compromise between a high spectral resolution and a sufficient signal-to-noise ratio. In additon, the IFOV of the spectral bands and the tilted modules is an integer multiple of that of the panchromatic nadir module, which significantly simplifies the merging of simultaneously recorded data. Figure 3 shows the position and width of the spectral bands of MOMS-02.

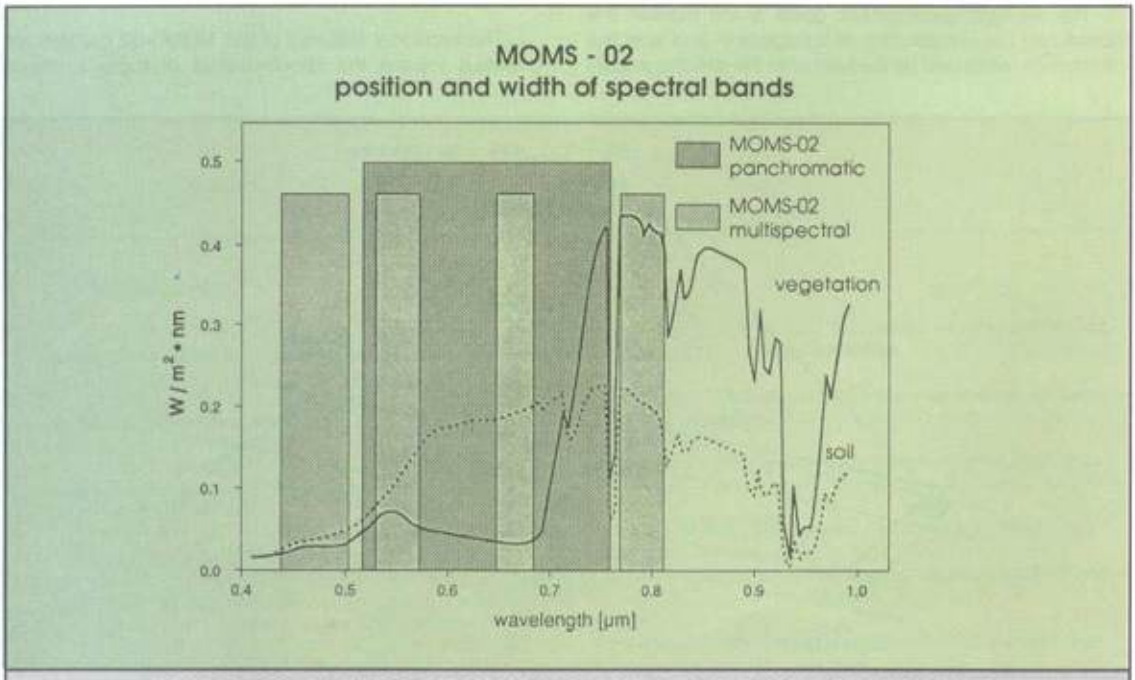


FIGURE 3: OVERVIEW OF THE MOMS-02 SPECTRAL AND PANCHROMATIC BANDS

TABLE 1 SUMMARIZES THE MOST IMPORTANT PERFORMANCE PARAMETERS OF THE MOMS-02 CAMERA WHERE ALL GEOMETRIC DATA ARE RELATED TO A NOMINAL FLIGHT ALTITUDE OF 296 KM.

Channel	Mode	Orientation	Band Width	Ground Pixel	Swath Width
1	M/S	Nadir	449 - 511 nm	13.5 m x 13.5 m	78/43 km
2	M/S	Nadir	532 - 576 nm	13.5 m x 13.5 m	78/43 km
3	M/S	Nadir	645 - 677 nm	13.5 m x 13.5 m	78/43 km
4	M/S	Nadir	772 - 815 nm	13.5 m x 13.5 m	78/43 km
5	HR	Nadir	512 - 765 nm	4.5 m x 4.5 m	37/27 km
6	Stereo	+21.4°	524 - 763 nm	13.5 m x 13.5 m	78/43 km
7	Stereo	-21.4°	524 - 763 nm	13.5 m x 13.5 m	78/43 km

Table 1: MOMS-02 characteristics

3. DATA ACQUISITION

The data takes during the D2 mission are considered very successful. The sensor was controlled and operated from the German Space Operation Centre (GSOC) at Oberpfaffenhofen upon the requests of the scientific user team, set-up by the principal investigators and the project management. According to the mission profile given in table 2, 48 data takes were performed during 5.5 hrs recording time including calibration runs before and after imaging (net time of imaging 4.5 h). Thus an overall coverage of approximately 8 mio km² was achieved and a cloud free coverage of 2.8 mio km² is realised.

TABLE 2: PERFORMANCE OF THE MOMS-02 SYSTEM AND D-2 MISSION PROFILE.

7 CHANNELS WITH 6000 ELEMENTS/DETECTOR ARRAY		
spectral range		spatial resolution
Multispectral bands (MS)		
channel 1	440 - 505 nm	13.5 m
channel 2	530 - 575 nm	13.5 m
channel 3	645 - 680 nm	13.5 m
channel 4	770 - 810 nm	13.5 m
Panchromatic bands *(High Resolution + Stereo)*		
three-line scanning for in-track stereo coverage		
channel 5	520 - 760 nm	4.5 m nadir-looking (HR)
channel 6	520 - 760 nm	13.5 m +21.4° tilted (ST)
channel 7	520 - 760 nm	13.5 m - 21.4° tilted (ST)
RADIOMETRIC RESOLUTION		8 bit selectable from 12
on-board data compression		8 to 6 bit (only for full stereo)
7 DIFFERENT OPERATION MODES		
stereo/spectral channel combinations:		
mode 1	channel 5,6,7	(HR + ST, all stereo)
mode 2	channel 1 - 4	(MS, all multispectral)
mode 3	channel 3,4,6,7	(2 MS / 2 ST)
mode 4	channel 1,3,4,6	(3 MS / 1 ST)
mode 5	channel 1,3,4,7	(3 MS / 1 ST)
mode 6	channel 2,3,4,5	(3 MS / HR)
mode 7	channel 1,3,4,5	(3 MS / HR)
SWATH WIDTH		37 km or 78 km, mode dependent
RECORDING		DDR-100 HDT recorder max. storage cap. 5.5 h max. data rate 100 Mbit/s coverage ca. 10 Mio. km²
SPACE PLATFORM		German Spacelab D2 Mission
MISSION DURATION		april 26 to may 6 1993
ORBIT INCLINATION		28.5°
ORBIT MEAN ALTITUDE		296 km

4. THEMATIC OBJECTIVES

The MOMS-02 data are expected to allow the improved interpretation and verification of natural phenomena and man made changes. The main investigations are focused on the fields of land-cover, geomorphology, ecology and urban planning. The 4 narrow multispectral bands in combination with the high spatial resolution enable an enhanced detection of relevant surface parameters, e.g. small scale textures of the earth's surface. Stereo data sets in high spatial resolution allow the derivation of high quality digital terrain models with an accuracy of up to 3 meters. The combination of simultaneously acquired stereo and multispectral data sets provide topographic and thematic information for environmental assessment and monitoring.

The major test areas of the thematic-geoscientific group of investigators and their principal research topics are:

- Egypt, Eastern Desert and Saudi Arabia: rock and soil spectral signatures, lithologic mapping, mineral exploration
- Ethiopia: vegetation spectral signatures, vegetation changes, land-use, pedology
- Zimbabwe: vegetation mapping, stratigraphic mapping, mineral exploration, regional planning
- Australia: stratigraphic and tectonic mapping, mineral exploration
- China: land use, natural risk assessment
- Chile and Mexico: coastal environment, natural risks, geological mapping
- Argentina: DTM modeling, natural risk assessment, regional and landuse planning
- Bolivia: Geological and structural mapping, mineral exploration, regional and landuse planning

TABLE 3: MOMS-02/D2 DATA TAKES

MOMS-02 PRELIMINARY DATA TAKE INFORMATION CENTRAL AND LATIN AMERICA

ORBIT	OPERATION MODE	DATA TAKE START LONG	LAT	END LONG	LAT	GEOGRAPHIC LOCATION
082	MODE 3	-107.00°	20.22°	-95.00°	14.04°	Mexico
097	MODE 3	-065.50°	06.36°	-57.00°	01.67°	Venezuela, Brazil
	MODE 3	-114.50°	26.01°	-96.50°	21.80°	Baja California
114	MODE 6	-076.00°	-06.21°	-66.00°	-10.77°	Peru, Brazil
115	MODE 1	-72.00°	-19.32°	-62.00°	-23.24°	Chile, Bolivia, Argentina
131	MODE 6	-70.60°	-23.30	-65.00°	-24.90°	Chile, Argentina
	MODE 6	-54.50°	-26.96°	-48.00°	-27.79°	Argentina, Brazil
146	MODE 1	-71.00°	-18.59°	-61.50°	-22.02°	Chile, Bolivia
147	MODE 3	-71.00°	-25.98	62.00°	-27.39°	Chile, Argentina

Planned applications in Central and Latin America are mapping of tectonic zones of weakness with respect to stability of roads or railrod dams. Especially a deficit in transport infrastructure are often limiting factors for the lasting success of regional development efforts, because economic development is limited without markets and exchange relations. Therefore regional/urban planning and risk assessment will be privileged tasks because of the advantageous spatial resolution of the panchromatic channels and in particular the on-track stereo capabilities. But also control of erosion and desertification, mineral prospection and environmental management are considered application fields. Table 3 gives information of areas in Central and South America covered by MOMS-02.

The availability of simultaneously acquired stereoscopic and multispectral information requires new ways of image processing and data extraction. The data extraction through optimised image enhancement and classification plus the quantitatively determinable third dimension enables the derivation of a variety of new data layers from one single system. These layers will be compiled in a Geo-Information-System with intelligent concepts for the combination of the extracted information.

The stereo capabilities combined with multispectral data will considerably improve the detectability of surface phenomena such as tectonic features and stratigraphic layers. The comparison of images taken under different observation angles allows to investigate the directional effects of surface texture on the spectral response and to assess the transparency and depths of coastal waters.

Simultaneously acquired multiresolution data will provide unique possibilities to study surface textures and mixed pixels for understanding the physical and geometric properties of the scanned objects. For vegetation studies and landuse purposes an improvement of classification accuracy is expected, especially in natural forest areas, biotop detection and monitoring regions with agro-forestry as well as in urban zones.

In addition MOMS-02 narrow band multispectral data will lead to an improved differentiation of spectral signatures of minerals, rocks, soils and vegetation. Different vegetation targets show significant reflectance differences, dependent on wavelength, irradiation conditions and look direction and angle (DEERING & ECK, 1987). This indicates that MOMS-02 modes III-V, combining multispectral bands with off-nadir stereo channels, will provide specific object dependent signal differences, which might be used to improve the differentiation of various vegetation communities.

Furthermore, the suitability of MOMS-02 for atmospheric research (scattering, thickness of layers), hydrologic-ecological and coastal studies (transparency, water depth, suspended matter), the detection and classification of instable slopes (areas endangered by land-slides), the mapping of watersheds and drainage area in karst regions, and the modelling of water flow shall be investigated.

5. FIRST RESULTS OF MOMS-02 DATA

One of the first MOMS-02 data sets processed, covers an arid area around the city of Buraydah (Northern Saudi-Arabia). The data take was flown successfully in mode 6 and consists of 3 multispectral bands: 4 (red range), 3 (green range), 2 (blue range) and of the high spatial resolution panchromatic band 5. By merging the high resolution panchromatic band into the false colour composite using the IHS-method (HAYDN et. al, 1982) it is possible to increase data interpretability and evaluation enormously.

Fig. 4 is an image of MOMS-02 data which shows clearly the smallscale features and textures in a very high spatial resolution (4.5 m) in combination with its characteristic spectral features. Bright greyvalues in the circular irrigated areas indicate active vegetation, whereas the dark greyvalues are related to dry vegetation in combination with soils. The airport located in the upper part of the figure demonstrates the capabilities of the high spatial resolution of this image, e.g. on the runway there are white markers detectable, and even very small buildings can be separated

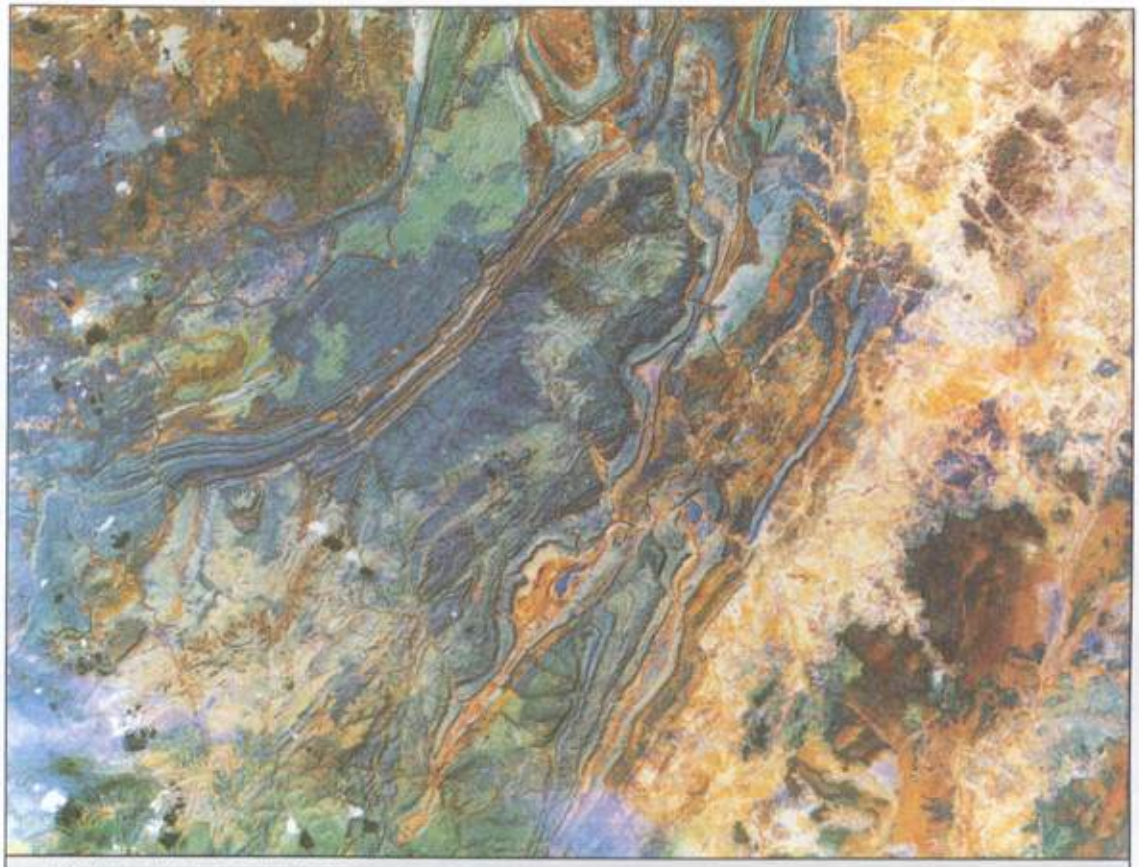


FIGURE 5: IMAGE OF THE MOMS-02 DATA OF HALLS CREEK, AUSTRALIA. B & W IMAGE OF MOMS-02 BANDS 4,3,1, SPATIAL RESOLUTION IS 13.5 METERS.

from more homogeneous areas at the airport. In the area around the city of Anaiza, located in the lower part of the image, even minor roads and small houses are visible, thus enhancing the contrast between the old villages and the modern and still expanding urban infrastructure.

Data products like this will be used in the near future for a wide range of applications. The monitoring of landuse as well as planning and surveying of urban settlements in developing countries are important tasks. The variety of different types of products that will be derived from MOMS-02 data in the future comprises digital terrain models, high resolution panchromatic and multispectral images.

Figure 5 shows an example of a multispectral MOMS-02 image acquired in Mode 2. The datatake consists of 4 multispectral bands (see Table 2). Three bands were used for this false colour composite: 4 (infrared range), 3 (red range), 1 (blue range). It demonstrates the potential of the MOMS-02 narrow multispectral bands to detect minor changes in geochemistry (e.g., $Fe^{2}+/Fe^{3}+$ contents).

The processed image shows an area located in the Northwestern part of Australia near the city of Halls Creek, unveiling manifold geological features. The geologic setting is characterized by precambrian sediments and volcanics, with greyvalues ranging from grey to dark, which underwent metamorphism and were folded intensively as a part of the Halls Creek Mobile Zone. Granitic intrusions that belong to the Halls Creek Province, an area of mining and prospection activities, are represented by light greyvalues. The high spatial resolution of this image enables mapping of thin layers of metasediments as well as detection of small-scale tectonic structures.

Fig. 6 shows an example of a multispectral MOMS-02 image acquired in Mode 3 over the Gulf of California. The datatake consists of 2 multispectral bands and 2 tilted panchromatic stereo-bands (see Table 2), the spatial resolution is 13.5 m. Only the 2 multispectral bands were used for this colour composite: 4 (infrared range), 3 (red range), Ratio 4/3 (blue range).

The image shows a part of the mexican coast of the Gulf of California near the city of Culiacan. At the centre of the image the city Culiacan near the steep raising Sierra Madre Occidental is presented in light colours. The coastal region is dominated by agriculture, which can be recognized by the typical land use pattern in grey to dark values. Interesting are also the foreshore mangrove forests and swamps and their filigran structures of water courses and vegetated areas. Within the coastal hinterland and along the Sierra several water reservoirs were arranged for irrigation. These water reservoirs often lead to inundations seriously affecting agriculture and infrastructure.

For this area a future thematic application based on MOMS-02 data will be the development of a hydrological model using a DTM derived from the stereo data of mode 3. Such a hydrological model is well suited for the evaluation of areas potentially endangered by inundations and can serve as a base for prevention and planning activities.

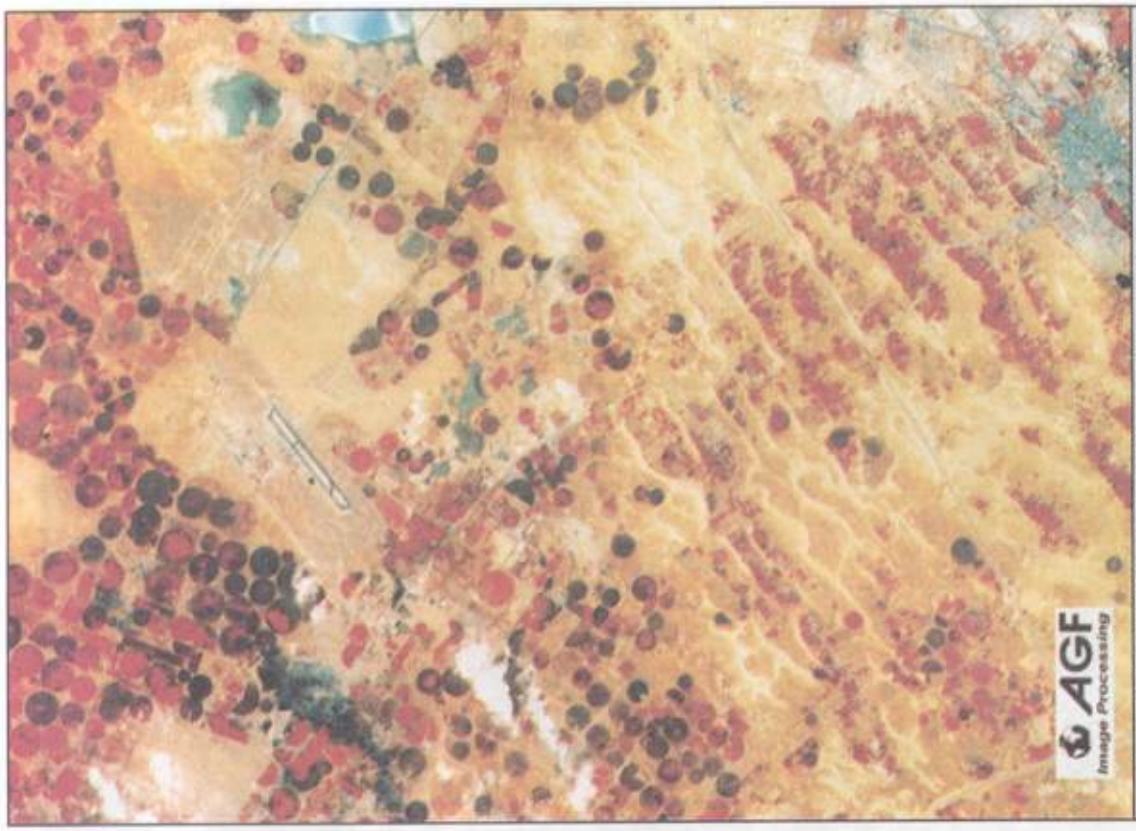


FIGURE 4: IMAGE OF THE MOMS-02 DATA OF BURAYDAH, NORTHERN SAUDI-ARABIA. IHS-MERGE OF MOMS-02 BANDS 4,3,2 WITH THE PANCHROMATIC BAND 5, SPATIAL RESOLUTION IS 4.5 METERS.

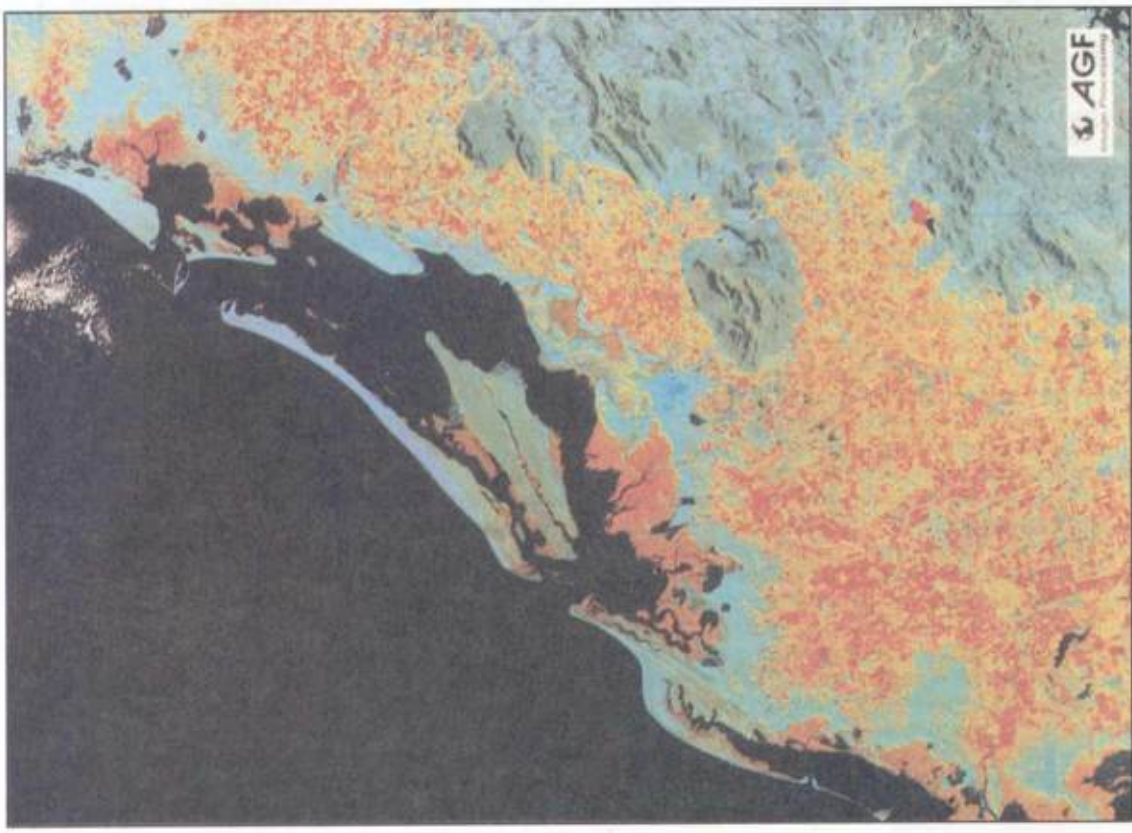


FIGURE 6: IMAGE OF THE MOMS-02 DATA OF CULIACAN, MEXICO, B & W IMAGE OF MOMS-02 BANDS 4,3, AND A COMBINATION OF RATIOS 4/3, SPATIAL RESOLUTION IS 13.5 METERS.

6. CONCLUSIONS AND PREVIEW OF THE FUTURE MOMS-02 PROGRAMME

The technical design of the MOMS-02 instrument is based on up to date sensor, optic and electronic technologies resulting in narrow spectral bands at reasonable SNR values. The position of the multispectral bands were determined with respect to the optimisation of vegetation and pedological/geological feature extraction. Results from simulated data and first assesments of transmitted raw data lead to the conclusion that considerable improvements can be expected through improved spatial and spectral resolution combined with stereo capabilities as compared to existing operational sensors.

The along-track stereo acquisition capability of the MOMS-02 sensor allows the evaluation of DEM's from data registered under the same irradiation conditions. This will be useful not only for photogrammetric purposes, but also for the interpretation of spectral response in regions with orographically developed topography.

After the successful experimental mission on Spacelab D2, MOMS-02 is planned to be deployed on the Russian space platform MIR in the framework of the environmental earth observation module PRIRODA, covering the Earth within the latitudes +/- 51.6°. This mission offers the opportunity of multisensor data registration with a repetition rate of 2 to 7 days and is considered an indispensable step to prepare high spatial, spectral and temporal resolution environmental monitoring at continental to global scales with Polar Platform missions being scheduled for the late 90th.

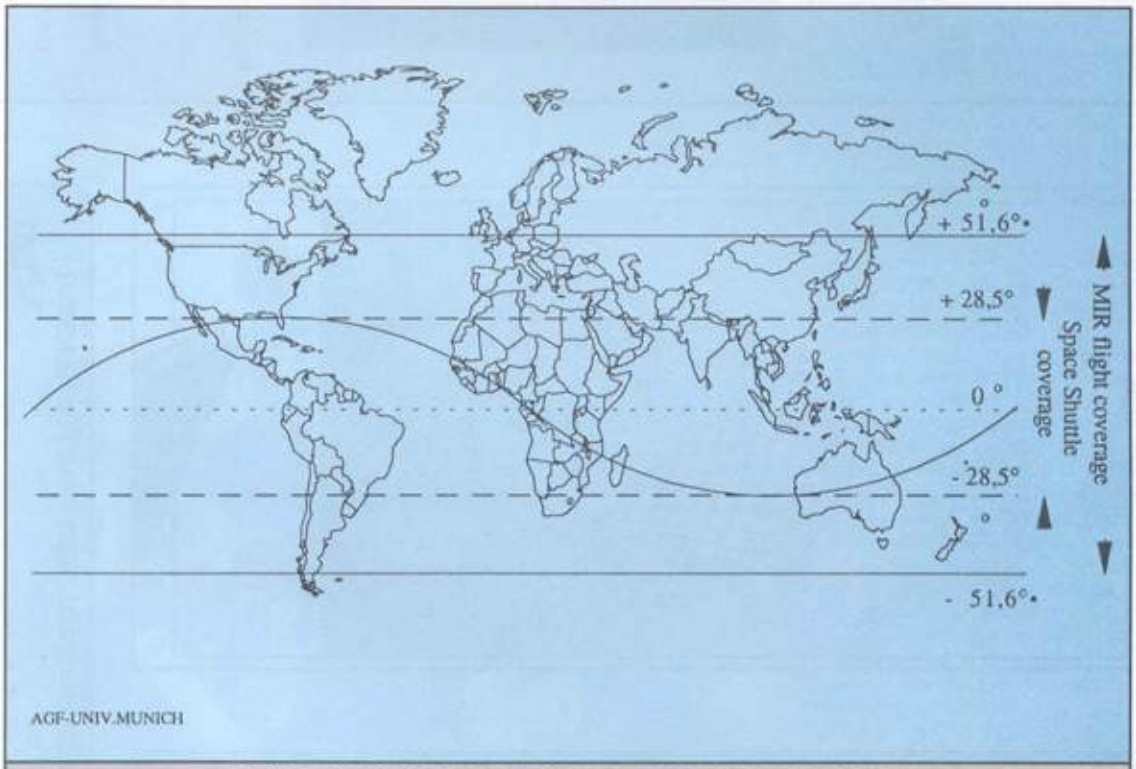


FIGURE 7: MOMS COVERAGE FOR D2 AND PRIRODA/MIR MISSIONS

REFERENCES

ACKERMANN F., BODECHTEL J., DORRER E., EBNER H., KAUFMANN H., KOCH B., LANZL F., SEIGE P., WINKENBACH H. & ZILGER J., 1989: ***«MOMS-02/D2- Wissenschaftsplan»,*** *pp.85, DLR. Oberpfaffenhofen.*

BODECHTEL J., HAYDN R., ZILGER J., MEISSNER D., SEIGE P. & WINKENBACH H., 1985: MOMS-01 ***«Missions and Results»*** *- In: Monitoring Earth's Ocean, Land and Atmosphere from Space - Sensors, Systems, and Applications, ed. by SCHNAPF A. - Progress in Astronautics and Aeronautics Series, Vol.97, American Inst. of Aeronautics and Astronautics.*

BODECHTEL J. & JUTZ S., 1990: ***«MOMS-02: Geological Applications of a Multispectral Stereo Imaging System for the Second German Spacelab Mission D2 in Arid Zones of Australia»,*** *Proc. of the 5th Australian Remote Sensing Conf. Oct.90, pp.*

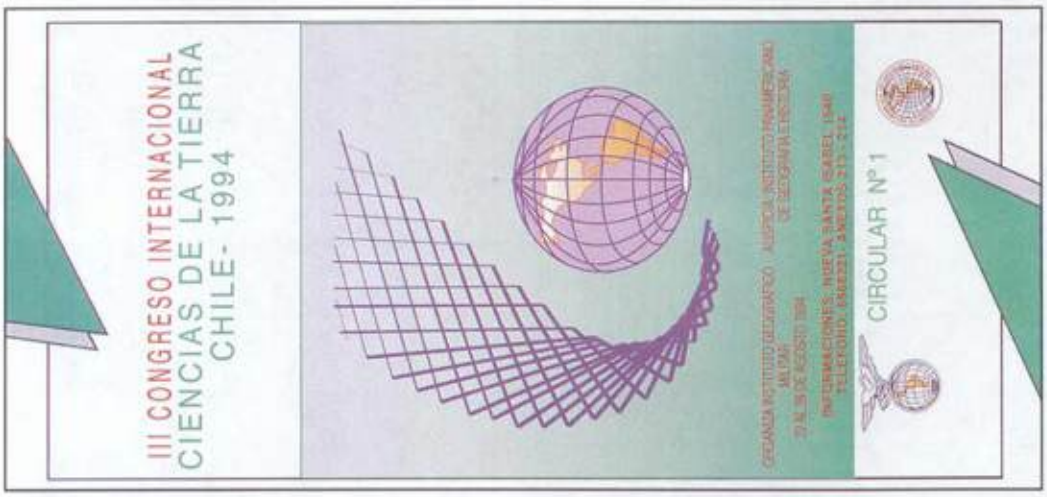
DEERING D. W., ECK Th. F., 1987: ***Atmospheric optical depth effects on angular anisotropy of plant canopy reflectance.*** *Int. J. Remote Sensing, Vol. 8, Nº 6, p. 893-916.*

DLR, 1993: ***MOMS-02 STS 55 Data Take Information,*** *Volume 1, of 4. Internal report Institut f. Optoelektronik, Oberpfaffenhofen, May 1993.*

HAYDN R., DAHLKE G. W., HENKEL J. & BARE J. P., 1982: ***Application of IHS Color Transform for Processing of Multispectral Data and Image Enhancement.*** *- Int. Symp. on Rem. Sens. of Arid and Semiarid Lands, Vol. I, Cairo, p. 599-616.*

KAUFMANN H., MEISSNER D., BODECHTEL J. & BEHR F. J., 1989: ***«Design of Spectral and Panchromatic Bands for the German MOMS-02 Sensor»,*** *Photogr. Engineering and Rem. Sens., Vol. 55, Nº 6, pp. 875-881.*

V
REUNION NACIONAL
SELPER-MEXICO
La Paz, BCS
Universidad Autónoma de Baja California Sur
3 - 4 de Noviembre de 1994
Organizan:
Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota, Capítulo México
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Instituto de Geografía, UNAM


III CONGRESO INTERNACIONAL
CIENCIAS DE LA TIERRA
CHILE- 1994
CIRCULAR Nº 1

ANUNCIO
II JORNADAS
EURO-LATINOAMERICANAS
DEL ESPACIO
Buenos Aires, Libertador Hotel
9-13 de Mayo 1994
Organizan :
Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)
Agencia Espacial Europea (ESA)
esa

TENTH THEMATIC CONFERENCE ON GEOLOGIC REMOTE SENSING
SAN ANTONIO, TEXAS, USA
9 - 12 MAY 1994
ERIM
ERIM

GEOINFORMÁNDOSE EN EL ITC!

CLASES MAESTRAS DICTADAS POR EXPERTOS

El Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias Terrestres (ITC) de Holanda cuenta al presente con unos 420 estudiantes realizando diferentes cursos. Las "Clases maestras" del ITC están dirijidas a profesionales de terminalidad media de los países en desarrollo, que deseen especializarse en diversos aspectos de levantamientos aeroespaciales, aplicaciones de sensoramiento remoto y sistemas de geoinformación.

Con ello se pretende mejorar el entendimiento de las tecnologías más avanzadas, requeridas con urgencia para lograr un desarrollo sostenido de los recursos, planeamiento y manejo ambiental.

Los conocimientos adquiridos por los profesionales son al mismo tiempo un prerequisito para la modernización de las instituciones involucradas en este tipo de trabajos en sus países. El ITC mantiene contactos intensivos con el IGAC/CIAF en Bogotá, Colombia, que es el instituto más importante para aeroespaciales/ SIG en la América del Sur y la América Central.

Los servicios de asesoría del ITC también forman parte de la transferencia de conocimientos. El Instituto está involucrado en unos cincuenta proyectos anuales alrededor del mundo.

A través de sus actividades de entrenamiento y servicios de asesoría, el ITC lleva a cabo investigaciones multidisciplinarias, problema-orientadas, dirijidas al levantamiento y monitoreo ambiental.

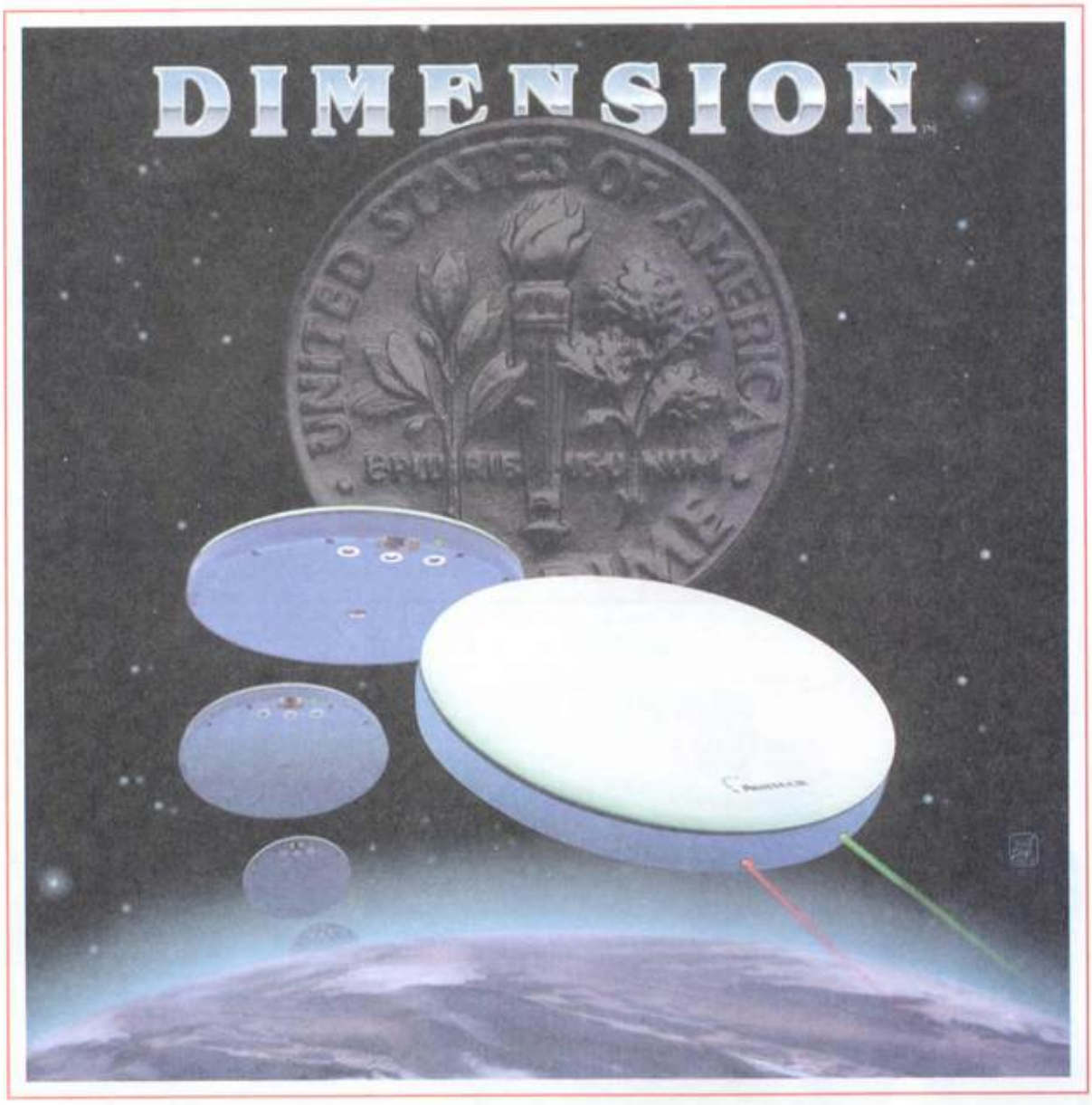
El ITC ha entrenado más de 10.000 estudiantes de 150 nacionalidades, desde su fundación en 1951. Además se han llevado a cabo trabajos de investigación y asesoría en unos 500 proyectos, en 70 países. Los cursos están organizados en módulos para posibilitar un método multidisciplinario de levantamientos de geoinformática, recursos naturales y ciencias urbanas. Los programas de entrenamiento ofrecen 40 cursos de diversas especializaciones, la mayoría a nivel de Postgrado, Maestría y Doctorado.

PhD levels.

itc

GEOINFORMACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIDO
en el Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias Terrestres (ITC)

Boulevard 1945, no. 350, Apartado 6, 7500 AA Enschede, Países Bajos.
Tel.: (31) 53-674444, Fax: (31) 53-674400
Telegrama: Aersur Enschede.
Télex: 44525 itc nl.



DIMENSION...el receptor GPS compacto con precision igual a las dimensiones de un centavo

- Nivel de precision de milimetros para mediciones estaticas, cinematicas y seudo-cinematicas
- Nivel de precision de decimetros para aplicaciones estaticas
- Nivel de precision de metros para captura dinamica de datos
- 12 canales de rastreo "Todo en vista"
- Hasta 8 Megabytes de memoria interna
- Compacto (9" de diametro), con carcaza de aliminio sellada a prueba de agua y de alto impacto que protege la antena GPS, el receptor y la memoria interna
- Completamente automatico...luz verde indica el satellites estan siendo monitoreados e informacion almacenada

- Puertos RS-232 para transferencia de datos y comunicacion simultanea, incluyendo GPS diferencial en tiempo real
- Interface con distintas unidades de control opcionales para control y denominacion de atributos (no requerida para la mayoria de las mediciones en terreno)
- Indicador de nivel de carga de la bateria
- Llame a Ashtech para completa informacion acerca de **DIMENSION**™ asi como tambien de RANGER™ M-XII, CODIGO-P DOBLE y otros receptores GPS Ashtech.

ASHTECH

United States: Ashtech, 1170 Kifer Road, Sunnyvale, CA 94086, Tel: (408) 524-1400 **United States:** Fax: (408) 524-1500
Argentina: Geoelsemas SRL, Buenos Aires, Tel: 54-1-342-6580, Fax: 54-1-334-9235
Mexico: Sistemas de Informacion, Col del Valle C.P., Tel: 525-575-4585, Fax: 525-575-2146
Brazil: Georeferencial Ltda., Curitiba, Tel: 55-41-266-7573, Fax: 55-41-266-7444
Chile: Geocom Ltda.,Santiago, Tel: 562-274-2559, Fax: 562-204-9535

INTERA

REMOTE SENSING TECHNOLOGY FOR THE 90'S

Intera provides a wide range of remote sensing technologies from data collection through analysis, including; training, technology transfer, and consulting services.

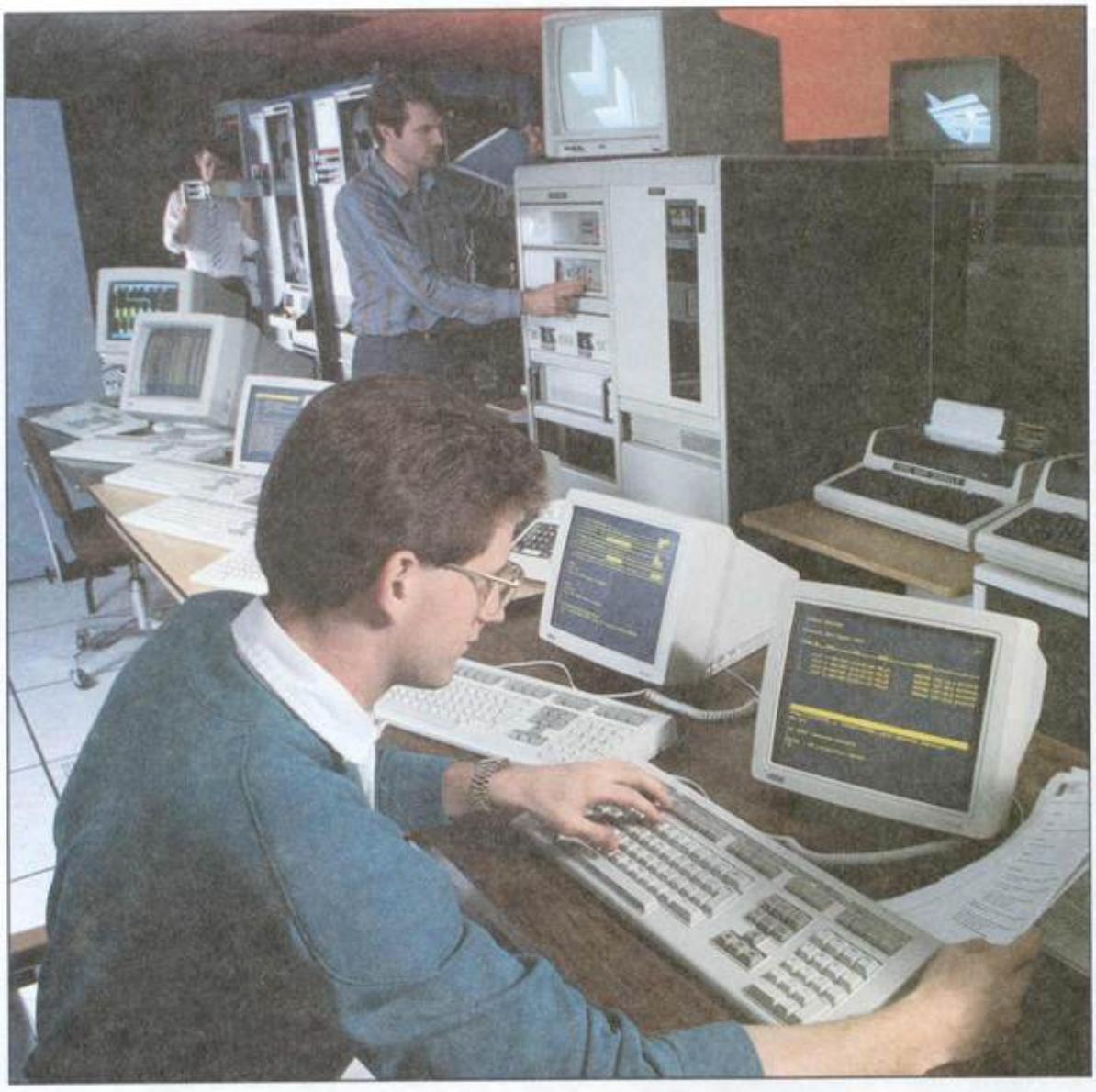
Specialties include:
- Imaging radar for
  - Geological and Forestry Applications
  - Land Use/Agriculture Mapping
  - Cartographic mapping
  - Training programs
- Radar Simulator for all spaceborne radar platforms including ERS-1 and Radarsat
- Forest Penetrating Radar for profiles beneath dense forest canopy
- Environmental Surveillance (Oil Spills, Floods)
- Environmental Impact Studies
- Weather monitoring and modification
- Geographic Information Systems
- Image Processing systems
- Systems Engineering

For information on these services please contact:

INTERA

Ken Link
Intera Kenting
200, 2 Gurdwara Road
Ottawa, Ontario. CANADA K2E 1A2
tel: (613) 226-5442 fax: (613) 226-5529

José Rodriguez
Intera Technologies
2500, 101 - 6th Avenue S.W.
Calgary, Alberta. CANADA T2P 3P4
tel: (403) 226-0900 fax: (403) 265-0499



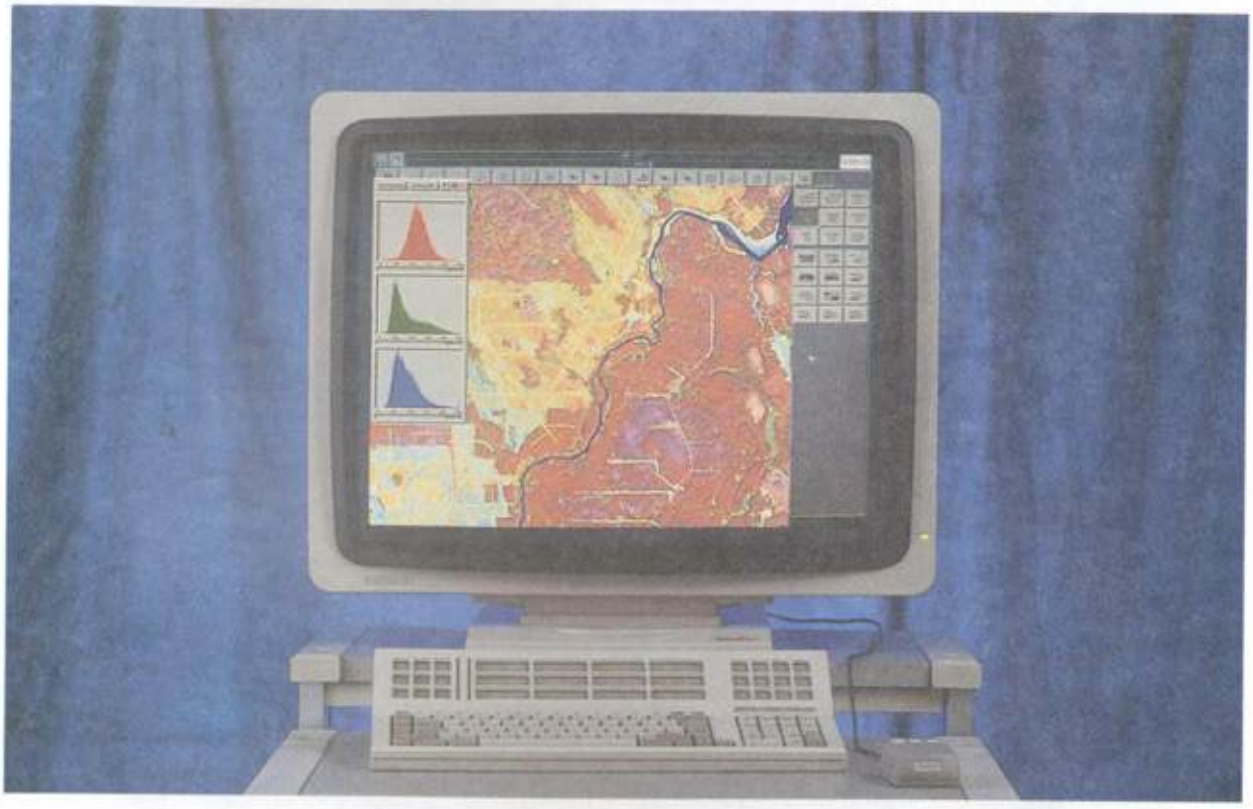
MACDONALD DETTWILER

The Systems Engineering Company

Systems for:
Earth Observation, Environmental Monitoring, Resource Management and Geographic Information Management

13800 Commerce Parkway, Richmond, British Columbia, Canada V6V 2J3
Telephone: (604) 278-3411 Fax: (604) 278-2117

The Perfect Partnership Of High-Performance Imaging And Sophisticated Graphics.



The future belongs to those who define it... and the future of graphics and imaging systems has been defined by Intergraph® and VITec.
Announcing the Intergraph ImageStation 6187™, a new standard for RISC-based workstations that tightly integrates the worlds of sophisticated graphics and high-performance imaging.

ImageStation 6187
The ImageStation 6187 integrates VITec's imaging chip-set with Intergraph's EDGE II™ graphics subsystem establishing a new performance benchmark for graphics and imaging workstations.

For Application Developers and users in GIS, C3I, Medical and Scientific Visualization markets, this means unprecedented processing speeds of 25,000 polygons per second, 300 MOPS (Million Operations Per Second) and 18 MFLOPS on raster image data.

Open Environment
The ImageStation 6187 is fully compatible with all other Intergraph RISC systems, and incorporates available industry standards such as the X Window System™, the UNIX™ Operating System, and leading networking protocols.

For more information–or a look at the future of workstation technology– call Intergraph at 800-826-3515 or 772-2700 in Huntsville, Alabama.

INTERGRAPH
&
VITec
The Imaging Alliance.

Intergraph is a registered trademark and EDGE II is a trademark of Intergraph Corporation. UNIX is a trademark of AT&T Bell Labs. X Window System is a trademark of MIT. Image Data courtesy of SPOT Image Corporation.

VI²STA software de percepción remota y modelamiento espacial

VI²STA™ es un completo juego de módulos de software de procesamiento de imágenes para percepción remota, creado para satisfacer las necesidades de los profesionales en manejo de recursos naturales, geología y control ambiental.
Con 20 años de experiencia desarrollando y manteniendo software, hardware y sistemas completos de percepción remota, I2S diseñó VI²STA específicamente para lograr el máximo de rendimiento en estaciones de trabajo y computadores de consola basados en UNIX.

X-Windows

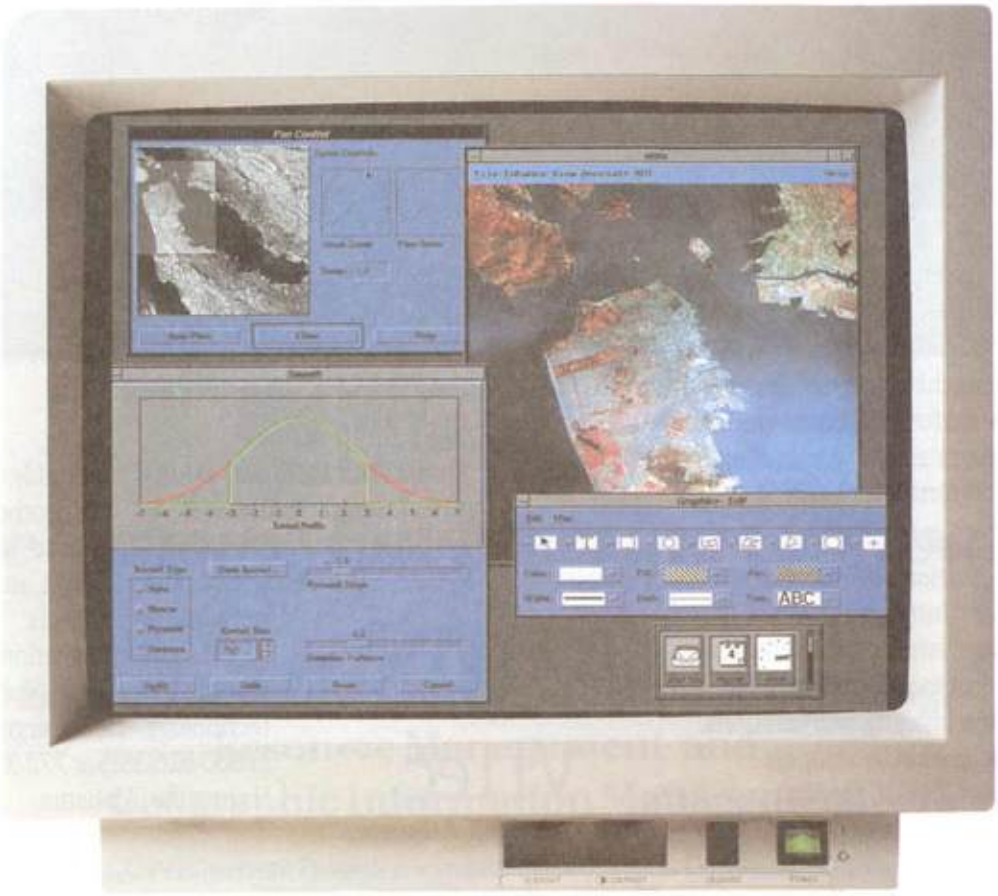
- Trabaja en Sun SPARCStation*, Silicon Graphics*, HP Apollo* y computadores 386/486 teniendo UNIX.
- Dócil despliegue X-Windows/MOTIF con múltiples ventanas de imágenes
- Interface gráfica para el usuario tipo apunte/dispare (point-and-click).
- Trabaja con separadores de bandas de 8 ó 24 bits
- Tamaño de imagen ilimitado con ampliación (zoom) y selección de área (roam) virtual
- Anotación/edición interactiva de información raster/vector superpuesta en imágenes raster

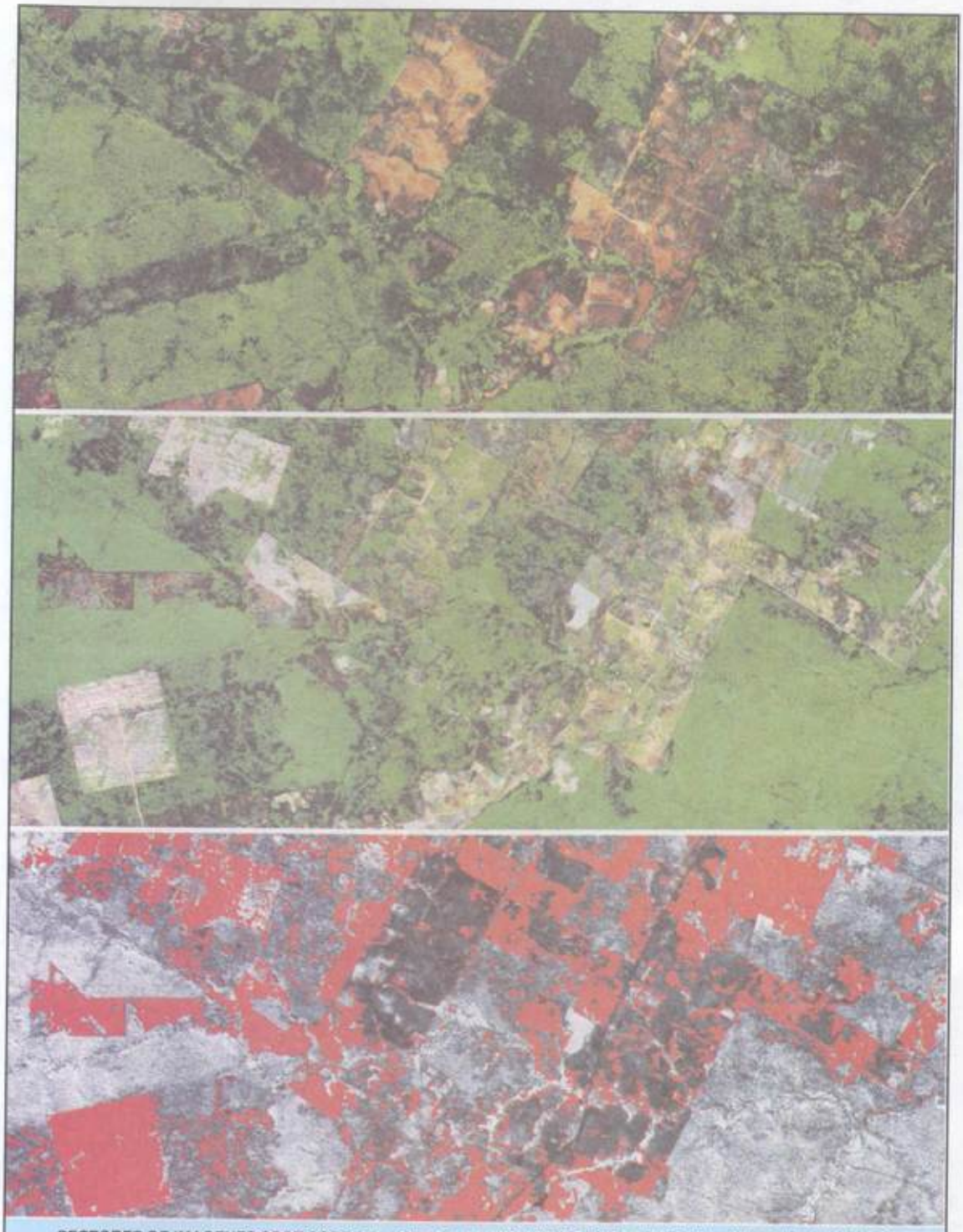
Rasgos Claves

- Incluye formatos comunes de intercambio de datos
- Compatible con un amplio rango de dispositivos de entrada y salida (I/O)
- Sobre 300 funciones (algoritmos) disponibles, incluyendo realce de imágenes, funciones geométricas, clasificación, modelamiento espacial, filtros, manejo de información de vectores, apoyo SIG y presentación de datos
- Conversión raster-vector y vector-raster
- Acepta información satelital en cualquiera de los 26 formatos
- Mantiene 24 tipos de proyecciones de mapas
- Módulo de modelamiento raster SIG
- Completo apoyo al usuario y un año de garantía incluido en el precio de venta

Para mayores detalles, llame o escriba a: International Imaging System, 1500 Buckeye Drive, Milpitas, California 95035, Tel. 408/432-3400, Fax 408/433-0965

*Marcas Registradas de sus respectivas compañías.





SECTORES DE IMAGENES SPOT SOBRE EL ESTADO AMAZONICO DE PARA EN BRASIL, DEL 15/07/86 (ARRIBA) Y 22/07/89 (CENTRO). LAS ZONAS DEFORESTADAS EN EL PERIODO APARECEN EN ROJO (ABAJO).

cnes

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
2, Place Maurice Quentin. 75039 Paris Cedex 01.
FRANCE. Tel: 45.08.75.68, Fax: 45.08.77.73

SPOT IMAGE
16 bis, avenue Edouard-Belin
31030 Toulouse Cedex - France

SPOT IMAGE

DLR

Establecimiento Alemán de Investigación Aeroespacial (DLR)

Area Espacial

Transportadores Espaciales
- Vuelo Hipersónico y Problemas de Reentradas en la Atmósfera
- Tecnologías Orbitales
- Tecnologías de Cohetes

Aplicación de Tecnologías Espaciales
- Comunicación y Técnicas de Localización
- Sistemas de Exploración
- Exploración del Medioambiente
- Ciencia de los Materiales y Ciencias Biológicas

Tareas relacionadas con Misiones Espaciales
- Centros Espaciales
- Sistemas de Control en Tierra
- Proyectos de Misiones Espaciales

Tareas organizativas en el área espacial
- Ejecución de Proyectos vinculados con Ciencias y Técnicas Espaciales
- Otras tareas organizativas en el área espacial

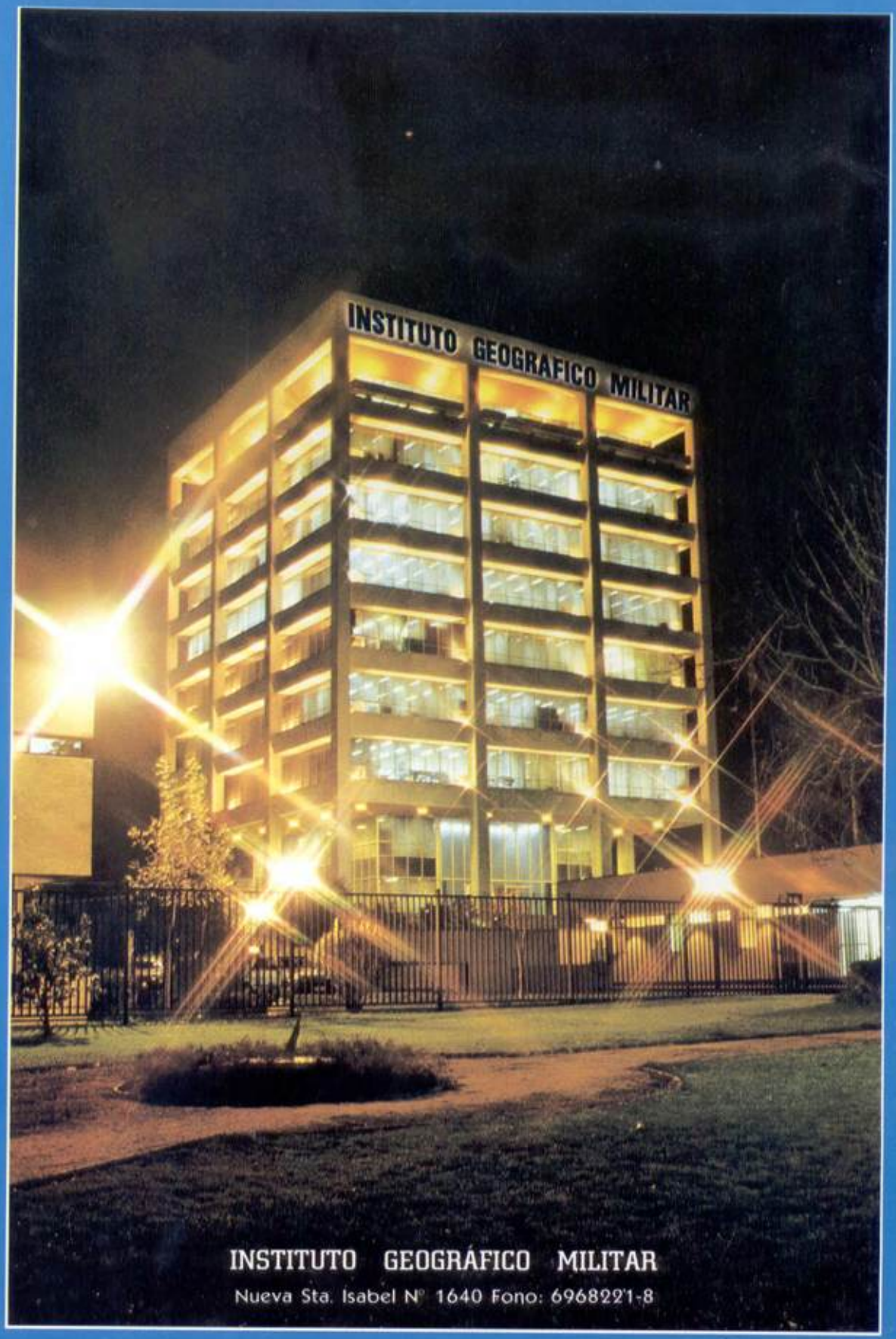
Area Aeronáutica

- Navegación y Seguridad de Vuelo
- Tecnología de Aviación Civil
- Tecnología de Aviones de Combate
- Tecnología de Helicópteros
- Tecnología de Motores a Reacción
- Elementos de Diseño y Simulación

Técnicas Energéticas

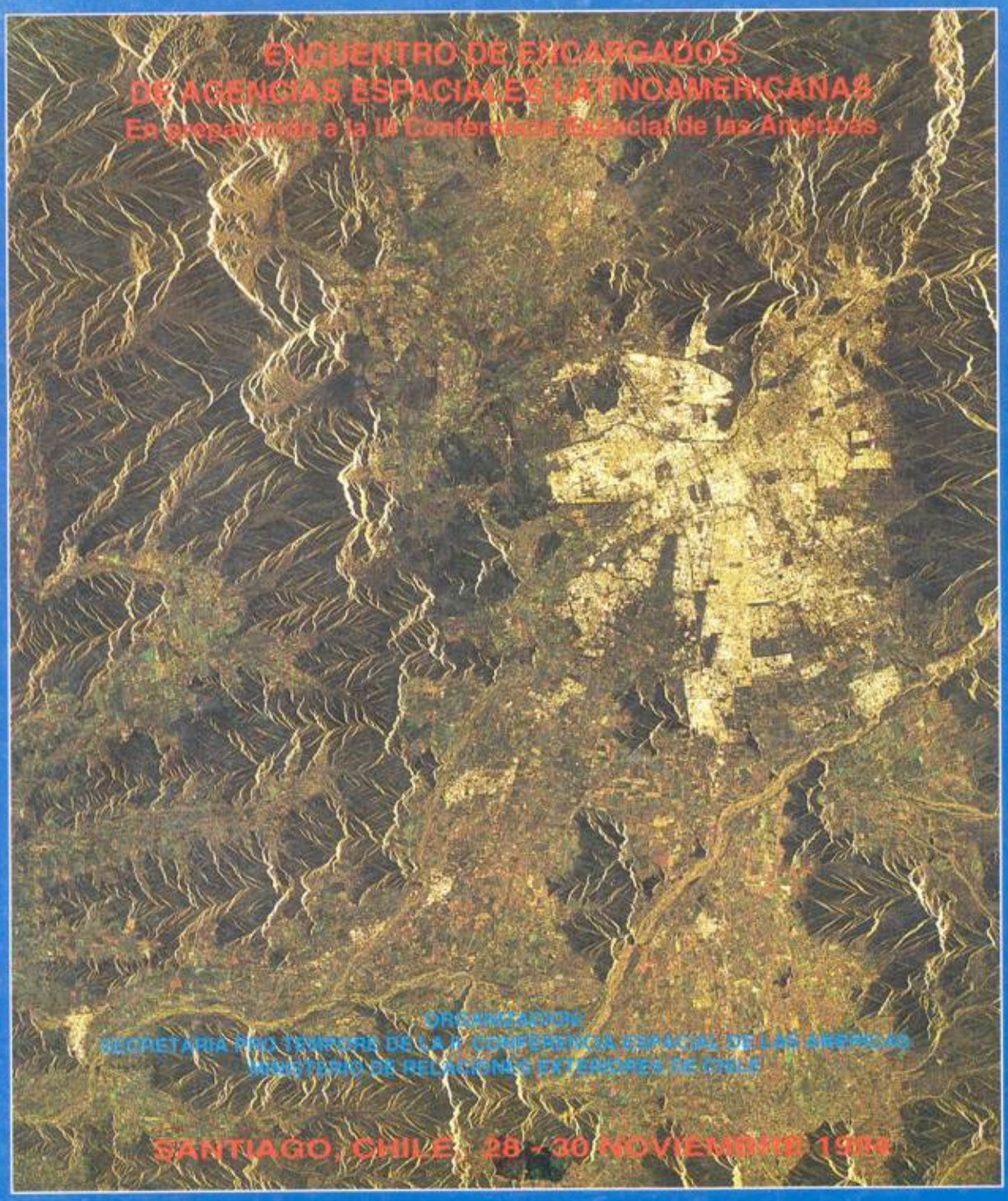
- Técnicas de Combustión
- Energía Solar y de Hidrógeno
- Laser de Alta Energía

DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR LUFT-UND RAUMFAHRT Internationales Büro (DLR-IB). Linder Höhe, D-5000 Köln 90, Deutschland./(DLR) D-8031 Oberpfaffenhofen, Deutschland Telephone (08153) 28897, T-fax (08153) 281343, Tlx 5270287 dadf d



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Nueva Sta. Isabel N° 1640 Fono: 6968221-8



SEDES SELPER

ECUADOR	CHILE	BRASIL	ARGENTINA	PERU	COLOMBIA	MEXICO	VENEZUELA
1980 - 1983	1983 - 1986	1986 - 1989	1989 - 1991	1991 - 1993	1993 - 1995	1995 - 1997	1997 - 1999

VICE PRESIDENTE SELPER
ING. WALTER DANJOY - ARIAS
PRESIDENTE SELPER (1991 - 1993)

ONERN. Apartado Postal 4992
Tel.: (5114) 410425 - Fax: (5114) 414606
Lima , Perú

DIRECTOR EDITORIAL SELPER
PROF. MAURICIO ARAYA-FIGUEROA
Presidente SELPER (1983 - 1986)

Presidente Madero 795 (Ñuñoa). Santiago, Chile.
Tel: (562) 6967583; Tlx: (562) 240501 BOOTH CL;
Fax: (562) 6981474

PRESIDENTE SELPER
DRA. GLORIA CECILIA BARNEY D.
Sede SELPER Colombia (1993 - 1995)

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
Carrera 30 N° 48-51, Bogotá, Colombia
Tel: (571) 268.0106, Fax: (571) 268.0004

IMPRESO EN LOS TALLERES GRAFICOS DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR DE CHILE
Nueva Santa Isabel 1640. Santiago, Chile. Tel: (0562) 6968221; Tlx: (0562) 441677; Fax: (0562) 6988278